

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/292606672>

VIGOR: Sviluppo geotermico nella regione Sicilia – Studi di fattibilità a Mazara del Vallo e Termini Imerese, Valutazione geotermica con geofisica eltrasportata

BOOK · SEPTEMBER 2014

READS

4

70 AUTHORS, INCLUDING:



[Roberto De Franco](#)

Italian National Research Council

109 PUBLICATIONS 917 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Domenico Montanari](#)

Italian National Research Council

80 PUBLICATIONS 335 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Giordano Montegrossi](#)

Italian National Research Council

101 PUBLICATIONS 619 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Giordano Teza](#)

University of Padova

59 PUBLICATIONS 610 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

VIGOR: SVILUPPO GEOTERMICO NELLA REGIONE SICILIA

Studio di fattibilità a
Mazara del Vallo

Studio di fattibilità a
Termini Imerese

Valutazione geotermica con
geofisica elitrasportata

VIGOR • VALUTAZIONE DEL POTENZIALE GEOTERMICO DELLE REGIONI DELLA CONVERGENZA

VIGOR:
Sviluppo geotermico nella regione Sicilia

Studio di fattibilità a
Mazara del Vallo

Studio di fattibilità a
Termini Imerese

Valutazione geotermica con
geofisica eltrasportata

pagina lasciata intenzionalmente vuota



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Ministero
dello Sviluppo Economico



Una scelta illuminata



Valutazione del potenziale geotermico delle Regioni della Convergenza
www.vigor-geotermia.it

Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra MiSE–DGENRE e CNR–DTA
POI *Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013*

GRUPPO DI LAVORO

Mazara del Vallo

Responsabile studio di fattibilità del sito: Dott. D. Montanari, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Coordinatore scientifico valutazione geotermica: D. Montanari

S. Bellani, G. Bertini, S. Botteghi, F. Caiozzi, A. Donato, M. Doveri, G. Gianelli, G. Gola, A. Manzella, A. Minissale, G. Montegrossi, E. Trumpy

CNR – Istituto Processi Chimico–Fisici

G. Lombardo, S. Abate, G. Desiderio

CNR – Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali

G. Caielli, R. De Franco, G. Norini

Università di Palermo – Dipartimento Scienze della Terra e del Mare

R. Catalano, S. Monteleone, S. Pierini

CNR – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

M. Balasco, A. Caputi, E. Rizzo, G. Romano, M. Votta

Università degli Studi di Napoli Federico II – Dipartimento di Scienze della Terra

M. Fedi, M. La Manna

CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

A. Contino, C. Gennaro, M. Sabatino, G. Tranchida

SINTEA S.r.l

C. Piemonte

DETAE S.r.l

Termini Imerese

Responsabile studio di fattibilità del sito: Dott.ssa M. Iorio, CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

Coordinatore scientifico valutazione geotermica: M. Iorio

C. Albanese, A. Angelino, A. Bambina, N. Cardellichio, A. Contino, V. Di Fiore, C. di Gregorio, M. di Leo,

C. Gennaro, M. Iavarone, N. Pelosi, M. Sabatino, S. Tamburrino, D. Tarallo, G. Tranchida, P. Scotto di Vettimo

Università degli Studi di Palermo – Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

Coordinatore scientifico valutazione geotermica: Prof. S. Monteleone

R. Catalano, C. Gibilaro, S. Pierini

CNR – Istituto Processi Chimico–Fisici

Coordinatore scientifico proposta impiantistica: G. Lombardo

S. Abate, G. Desiderio

CNR – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

M. Balasco, A. Caputi, A. Giocoli, E. Gueguen, A. Perrone, S. Piscitelli, E. Rizzo, G. Romano

CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

E. Calvi, M. Catania, E. Ferrari, C. Giorgi, S. Trifirò, A. Minissale, M. Mussi

AMRA S.c.a.r.l

P. P. Bruno, L. Calvanese, S. Maraio, M. Punzo, D. De Rosa, F. Varriale

SINTEA S.r.l

C. Piemonte

DETAE S.r.l

Valutazione geotermica geofisica elstrasportata

CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Coordinatore scientifico valutazione geotermica: A. Manzella

A. Santilano, S. Botteghi, F. Caiozzi, E. Destro, E. Di Sipio, A. Donato, A. Galgaro, G. Gola, D. Montanari, G. Teza, E. Trumpy

CNR – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

E. Rizzo, G. Romano

CNR – Istituto di Ricerca sulle Acque

S. Maggi

Aarhus Geophysics

A. Viezzoli, A. Menghini

Skytem – Airborne geophysical survey company

COORDINAMENTO TECNICO-SCIENTIFICO DEL PROGETTO

Direttore Dott. Enrico Brugnoli, CNR – Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente

Dott.ssa Adele Manzella, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

SUPERVISIONE E COORDINAMENTO DEL DOCUMENTO

Per la valutazione delle risorse superficiali

Dott. Sergio Chiesa, CNR – Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali

Per la valutazione delle risorse profonde

Dott. Domenico Montanari, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Per gli studi di fattibilità

Dott.ssa Adele Manzella, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Ing. Giuseppe Lombardo, CNR – Istituto per i Processi Chimico-Fisici

REFERENTI TEMATICI

Per la Geologia

Domenico Montanari, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Per l'Idrogeologia

Maurizio Polemio, CNR – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Marco Doveri, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Per la Geochimica

Nicola Cardellichio, CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

Angelo Minissale, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse

Per la Geofisica

Enzo Rizzo, CNR – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

Roberto De Franco, CNR – Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali

Per le proposte impiantistiche

Ing. Giuseppe Lombardo, CNR – Istituto per i Processi Chimico-Fisici

Ing. Gaetano Cacciola, CNR – Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia "Nicola Giordano"

Ing. Santolo Meo, Università degli Studi di Napoli Federico II

Ing. Alberto Carotenuto, Università Parthenope Napoli

REFERENTE SCIENTIFICO PER LA REGIONE SICILIA

Dott.ssa M. Iorio, CNR – Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

SI RINGRAZIA PER IL CONTRIBUTO

Dott.ssa S. Piezzo, Autorità di Gestione POI Energie Rinnovabili 2007-2013

Supporto Tecnico al POI Energie Rinnovabili 2007-2013

Il personale CNR e della Regione Sicilia che hanno contribuito allo scambio di informazioni e all'organizzazione delle attività di riferimento comune e in particolare:

I rappresentanti della Regione partecipanti alle attività del progetto VIGOR

Dott. Ing. P. Valenti, Dott. G. Galati, Ing. L. Davì, Dott. G. Arnone, G. Lo Re, V. Cusimano – Regione Sicilia

I Comuni di Termini Imerese e Mazara del Vallo

Dott.ssa A. Cazzola, Dott. G. Lanfranchi, Dott. P. Rocchini – ENI

VIGOR: Sviluppo geotermico nella regione Sicilia

**Studi di fattibilità a Mazara del Vallo, Termini Imerese
e Valutazione geotermica con geofisica elitrasportata**

Progetto editoriale e grafico,
impaginazione:

Alle Bonicalzi e Nicola Maria Lanni
studio allegropanico – www.allegropanico.com

Ricerca iconografica:
CNR

Prima edizione: settembre 2014

ISBN: 9788879580175

Edizioni CNR – IGG Area della Ricerca di Pisa

Nel caso di riproduzione, anche parziale, di immagini, testi e/o contenuti della presente opera si raccomanda esplicita citazione in questa forma:

Abate S., Albanese C., Angelino A., Balasco M., Bambina B., Bellani S., Bertini G., Botteghi S., Bruno P.P., Caielli G., Caiozzi F., Calvanese L., Calvi E., Caputi A., Cardellichio N., Catalano R., Catania M., Contino A., De Franco R., De Rosa D., Desiderio G., Destro E., Di Fiore V., Di Sipio E., Donato A., Doveri M., Fedi M., Ferrari E., di Gregorio G., di Leo M., Galgaro A., Gennaro C., Gianelli G., Gibilaro C., Giocoli A., Giorgi C., Gola G., Gueguen E., Iorio M., La Manna M., Lavarone M., Lombardo G., Maggi S., Manzella A., Maraio S., Menghini A., Minissale A., Montanari D., Montegrossi G., Monteleone S., Mussi M., Norini G., Pelosi N., Perrone A., Piemonte C., Pierini S., Piscitelli S., Punzo M., Rizzo E., Romano G., Sabatino M., Santilano A., Scotto di Vettimo P., Tamburrino S., Tarallo D., Teza G., Tranchida G., Trifirò S., Trumpy E., Varriale F., Viezzoli A. e Votta M. (2015). *VIGOR: Sviluppo geotermico nella regione Sicilia – Studi di fattibilità a Mazara del Vallo e Termini Imerese, Valutazione geotermica con geofisica elitrasportata. Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013*, CNR-IGG, ISBN: 9788879580175

L'editore è a disposizione degli aventi diritto con i quali non gli è stato possibile comunicare, nonché per eventuali involontarie omissioni o inesattezze nella citazione delle fonti dei brani riprodotti nel presente volume.

Sommario

VIGOR: STUDIO DI FATTIBILITÀ A MAZARA DEL VALLO	13
Executive Summary.....	15
Allegati e siti web di riferimento.....	16
<i>Cartografia</i>	16
<i>Siti Web</i>	17
Introduzione.....	19
1. Caratteristica della risorsa geotermica e dell'utilizzo proposto.....	21
1.1 La risorsa geotermica.....	21
1.1.1 Assetto geologico e idrogeologico.....	22
1.1.2 Indagini geochimiche.....	25
1.1.3 Indagini geofisiche	26
1.1.4 Modello geologico 3D.....	31
1.1.5 Modello concettuale.....	32
1.1.6 Descrizione della risorsa	33
1.2 Proposta tipologia di utilizzo.....	35
1.2.1 Caratteristiche principali impianto	35
2. Descrizione progettuale.....	37
2.1 Condizioni ambientali di riferimento.....	37
2.2 Fabbisogno termico e frigorifero dell'utenza	37
2.3 Dati progettuali.....	40
2.4 Schema di impianto.....	40
2.4.1 Caratteristiche tecniche della pompa di calore.....	41
2.5 Bilancio di massa ed energia.....	41
2.6 Schema di flusso concettuale dell'impianto	42
2.6.1 Rete di teleriscaldamento	42
3. Simulazione del funzionamento dell'impianto.....	45
3.1 Fabbisogni Energetici dell'impianto.....	45
3.2 Risparmio energetico.....	45
3.3 Analisi Ambientale.....	47
4. Analisi di fattibilità economica	49
4.1 Costo d'investimento.....	50
4.2 Costi e ricavi d'esercizio.....	50
4.2.1 Ricavi di esercizio	50
4.2.2 Costi di esercizio	50
4.3 Risultati dell'analisi di fattibilità economica	51
4.4 Analisi di sensitività.....	51
4.5 Ipotesi di realizzazione di un impianto "full green"	52

5. Soluzione alternativa: teleriscaldamento + usi diretti della geotermia	55
5.1 Considerazioni di impostazione generale.....	55
5.2 Teleriscaldamento + riscaldamento dell'acqua di una piscina.....	56
5.3 Teleriscaldamento + alimentazione di energia termica per un pastificio.....	57
5.4 Teleriscaldamento + dissalatore di acqua di mare.....	59
5.5 Teleriscaldamento + essiccamiento dei fanghi di un impianto di depurazione.....	61
6. Iter autorizzativo	63
6.1 Premessa.....	63
6.2 Classificazione e tipologie di impianti.....	63
6.3 Iter autorizzativo per la presentazione dei permessi di ricerca e di concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale nella Regione Sicilia.....	64
Bibliografia di riferimento.....	67
Appendice	71
 VIGOR: STUDIO DI FATTIBILITÀ A TERMINI IMERESE.....	83
Executive Summary.....	85
Allegati e siti web di riferimento.....	86
Cartografia.....	86
Siti Web.....	87
Introduzione.....	89
1. Caratteristica della risorsa geotermica e dell'utilizzo proposto.....	91
1.1 La risorsa geotermica	91
1.1.1 Assetto geologico ed idrogeologico.....	92
1.1.2 Indagini geochimiche.....	96
1.1.3 Indagini geofisiche.....	97
1.1.4 Modello concettuale.....	97
1.1.5 Il sondaggio geognostico esplorativo.....	99
1.2 Proposta tipologia di utilizzo	100
1.2.1 Caratteristica della risorsa geotermica e del suo utilizzo.....	102
1.2.2 Caratteristica dell'acqua di mare e del suo utilizzo.....	102
2. Descrizione progettuale	103
2.1 Condizioni ambientali di riferimento	103
2.2 Dati progettuali	103
2.3 Schema di impianto	103
2.3.1 Caratteristiche tecniche del Dissalatore a Multiplo Effetto	103
2.3.2 Caratteristiche tecniche della Pompa di Calore per la produzione di acqua calda a 80 °C	105
2.4 Bilancio di massa ed energia	106
2.5 Schema di flusso concettuale dell'impianto.....	106

3. Simulazione del funzionamento dell'impianto	111
3.1 Fabbisogni energetici dell'impianto	111
3.2 Risparmio energetico	111
3.3 Analisi ambientale	113
4. Analisi di fattibilità economica	115
4.1 Costo d'investimento	116
4.2 Costi e ricavi d'esercizio	116
4.2.1 Ricavi di esercizio	116
4.2.2 Costi di esercizio	116
4.3 Risultati dell'analisi di fattibilità economica	117
4.4 Analisi di sensitività	117
4.5 Ipotesi di realizzazione di un impianto "full green"	117
5. Iter autorizzativo	119
5.1 Premessa	119
5.2 Classificazione e tipologie di impianti	119
5.3 Iter autorizzativo per impianti con prelievo di fluido dal sottosuolo	120
Bibliografia di riferimento	123
Appendice	125
VIGOR: VALUTAZIONE GEOTERMICA CON GEOFISICA ELITRASPORTATA	137
Executive summary	139
1. Inquadramento geologico	141
2. La prospezione EM elitrasportata	143
3. Modeling 3D Geologico	145
4. Modeling Termofisico	149
5. Potenziale di geoscambio e prodotti finali	153
Bibliografia di riferimento	157
Appendice	161

pagina lasciata intenzionalmente vuota

La geotermia è scienza, tecnologia ed energia.

È la scienza che indaga le fonti di calore endogeno della Terra; è la tecnologia (impiantistica e disciplinare) che permette di accedere a tali risorse e coltivarle; è l'energia che ne scaturisce, utilizzabile sia come calore – direttamente – sia per la produzione di energia elettrica.

La geotermia è utile, difficile e... bella.

È una disciplina utile, perché dall'indagine geotermica e dagli impianti deriva un approvvigionamento energetico efficiente e indipendente sia dalle forniture estere sia dalle fluttuazioni del prezzo del petrolio. È una sfida difficile: si esige competenza e perizia per attingere a una fonte di energia praticamente ubiqua, ma custodita; locale e disponibile sempre, rinnovabile e, dunque, sostenibile: un'energia bella!

La geotermia è una branca del sapere e una pratica tecnologica poco compresa, perché poco nota, ancora scarsamente organizzata e, spesso, poco incentivata.

Serve dunque informazione, che è raccolta di dati, divulgazione, formazione.

Grazie a una sapienza (oggi lo chiamano *know-how*) e a un'esperienza uniche nel settore, messe in campo dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, in accordo con il Ministero dello Sviluppo Economico, la geotermia oggi è anche VIGOR.

Un progetto quadriennale che ha permesso di calcolare il potenziale geotermico di alcune Regioni del sud Italia e integrarlo in mappe significative del territorio, di progettarne il possibile utilizzo tramite impianti tecnologicamente ed economicamente realizzabili, dipanandone l'iter autorizzativo e indagandone il grado di accettabilità sociale per, infine, condividere tutto ciò (tramite opere e carte stampate e via web), affinché un'esperienza (inter)regionale diventi patrimonio condiviso.

Da qui in poi, la geotermia è progetto e investimento. Ed è futuro: il nostro.

Adele Manzella
Coordinatrice scientifica del progetto

pagina lasciata intenzionalmente vuota

**VIGOR:
STUDIO
DI
FATTIBILITÀ A
MAZARA
DEL VALLO**

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Executive Summary

Questo studio descrive la valutazione geotermica effettuata nel sito di Mazara del Vallo e la proposta tecnico-economica per lo sviluppo di un progetto impiantistico relativo a risorse geotermiche a media entalpia e la realizzazione di un impianto pilota per alimentare una rete di teleriscaldamento per il riscaldamento ed il raffrescamento di edifici pubblici presenti nel Comune di Mazara del Vallo. La verifica della possibilità di utilizzo della risorsa geotermica per la realizzazione dell'impianto, e la valutazione quindi della sua realizzabilità, è avvenuta mediante indagini geologiche, idrogeologiche, geochimiche, geofisiche e la realizzazione di una specifica simulazione numerica dinamica dei parametri fisico-chimici del serbatoio.

L'impianto proposto consiste nella produzione centralizzata di energia termica (acqua calda a 90 °C) e la successiva produzione decentralizzata di acqua fredda mediante gruppi frigoriferi ad assorbimento localizzati presso singole e/o gruppi di utenze. In particolare, sulla base di simulazioni tecnico/economiche, è stata individuata la modalità

più idonea di esercizio dell'impianto capace di valorizzare appieno la risorsa geotermica presente in zona. Infatti, tramite un impianto costituito da uno scambiatore di calore, abbinato in serie ad una pompa di calore, si riesce a prelevare dal fluido geotermico una potenza termica di 7,2 MWt a fronte di una potenza termica complessiva a servizio della rete di teleriscaldamento di 9.700 kW. Le simulazioni energetiche dell'impianto hanno messo inoltre in evidenza un risparmio del 52% rispetto ad una soluzione convenzionale di pari potenza termica.

In considerazione del valore dimostrativo dell'intervento proposto, è stata valutata la possibilità di realizzare un impianto con funzionamento “full green” in modo da garantire l'integrale copertura dei fabbisogni termofrigoriferi del complesso tramite unità alimentate con fonti rinnovabili, e un sistema di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in grado di fornire, su base annua, la medesima quantità di energia consumata dalle pompe di calore e dagli

altri ausiliari di centrale. Per la fornitura di energia elettrica sono state prese in considerazione diverse possibilità (motore cogenerativo ad olio vegetale, impianto fotovoltaico, impianto eolico, contratti dedicati di fornitura elettrica con garanzia dell'origine dell'energia acquistata), concludendo che la soluzione più semplice e sicuramente più conveniente, è quella di stringere un contratto di fornitura elettrica con garanzia di produzione da fonti rinnovabili.

L'impatto ambientale del sistema proposto è minimo, in quanto si è supposto che le forniture di elettricità asservite per il funzionamento della pompa elettrica e degli ausiliari di centrale siano servite da un impianto qualificato IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili) presente sul territorio nazionale.

L'analisi di fattibilità economica eseguita tramite il metodo dell'attualizzazione del flusso di cassa generato dal progetto ha messo in evidenza che l'intero importo del progetto, stimato in 12.685.000€, possa essere recuperato in circa 20 anni (PRA) al netto dei due anni di costruzione ipotizzato. Inoltre il valore attualizzato netto (VAN) del progetto è stato stimato in circa un milione di euro con un tasso interno di rendimento (TIR) del 5,80%. Tuttavia, si è anche valutato se eventuali contributi pubblici a fondo perduto potessero dare una maggiore redditività economica dell'iniziativa proposta. In particolare, ipotizzando un costo di investimento iniziale inferiore del 40% rispetto a quello stimato inizialmente si ottiene un PRA di circa 10 anni, con un VAN di circa 6 milioni di euro ed un TIR del 12,51.

INDICE	U.M.	senza contributi	con contributi a fondo perduto di 5 milioni di euro
TIR	%	5,80	12,51
VAN	€	906.378	5.881.279
PRA (al netto degli anni di costruzione)	anni	19,85	9,32

Le simulazioni economiche hanno quindi

evidenziato che la realizzazione di un impianto a Mazara del Vallo per la sola climatizzazione degli edifici presenta una redditività economica bassa se non aiutata da contributi pubblici a fondo perduto. Il motivo è dovuto essenzialmente al piccolo risparmio economico che si ottiene per il solo utilizzo del calore geotermico per la climatizzazione. Per tale motivo, abbiamo preso in considerazione altre soluzioni alternative di utilizzo in cascata del calore in uscita dalla rete di teleriscaldamento. Le soluzioni proposte consistono nel fornire calore ad alcuni processi produttivi per:

- riscaldare una piscina
- alimentare un pastificio con processo di produzione della pasta a bassa temperatura
- alimentare un dissalatore per acqua di mare
- alimentare un sistema di essiccamiento di fanghi per un impianto di depurazione.

Si evidenzia comunque che i singoli casi di processo per gli usi diretti della geotermia, esposti brevemente in questo studio, sono stati poi approfonditi in studi dedicati nell'ambito del progetto VIGOR per altri siti (Mondragone, Santa Cesarea, Termini Imerese e Terme Caronte).

Viene infine descritto il quadro normativo relativo alla realizzazione dell'impianto per la Regione Sicilia, alla luce della situazione attuale (ottobre 2014).

Allegati e siti web di riferimento

Cartografia

Il presente documento è corredata dai seguenti prodotti cartografici (indicati in corsivo nel testo), allegati a parte e disponibili online in formato pdf. Nella versione a stampa sono disponibili solo gli Allegati contrassegnati da asterisco.

- *Allegato 1:* Carta geologica
- *Allegato 2:* Schema geologico-strutturale
- *Allegato 3:* Sezioni geologiche
- *Allegato 4:* Carta dei complessi idrogeologici

- *Allegato 5:* Carta ubicazione pozzi e indagini geofisiche*
- *Allegato 6:* Schede pozzi
- *Allegato 7:* Carta ubicazione pozzo di produzione e pozzo di re-iniezione
- *Allegato 8:* Tracciato della dorsale principale della rete di teleriscaldamento
- *Allegato 9:* Bilancio di massa ed energia
- *Allegato 10:* Layout di massima della centrale di teleriscaldamento
- *Allegato 11:* Schema di flusso concettuale del sistema
- *Allegato 12:* Schema progetto sottocentrale termica per riscaldamento ambienti
- *Allegato 13:* Schema progetto sottocentrale termica per riscaldamento ambienti e produzione di acqua calda sanitaria
- *Allegato 14:* Schema progetto sottocentrale

termica per riscaldamento ambienti e produzione di acqua gelida mediante frigo ad assorbimento

Le appendici sono invece parte integrante di questo documento (indicate in grassetto nel testo).

Siti Web

Questo documento e tutte le mappe descritte in questo volume sono disponibili, visualizzabili e scaricabili dalla pagina >prodotti del sito web del progetto VIGOR
<http://www.vigor-geotermia.it>

Tutto il materiale cartografico elaborato dal progetto VIGOR è disponibile sul portale webGIS, raggiungibile direttamente al link **<http://www.vigor-geotermia.it/geo-portal/>** o tramite la pagina >prodotti del sito di VIGOR. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Introduzione

Il progetto VIGOR (Valutazione del potenziale Geotermico delle regioni della Convergenza) mira alla promozione di interventi innovativi riguardanti l'impiego dell'energia geotermica, a partire dalle Regioni della Convergenza. La sfida di VIGOR consiste nell'estendere l'utilizzo del calore geotermico per produrre in maniera economica, elettricità e/o calore da una risorsa rinnovabile globalmente distribuita e presente 24 ore su 24. VIGOR può rappresentare anche un punto di partenza per affermare il nuovo paradigma energetico legato alla generazione diffusa e distribuita di energia da fonti rinnovabili, incidendo sensibilmente sui risparmi energetici e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, conseguendo significativi vantaggi in termini di lotta ai cambiamenti climatici. Investire sulla geotermia significa anche scommettere sul futuro del Paese: usufruendo, da una parte, dei benefici energetici ed ambientali che la risorsa rinnovabile può fornire e, dall'altra, delle ricadute di tipo occupazionale, economico, produttivo e di know-how scientifico

che si possono innescare con l'utilizzo consapevole e mirato della risorsa geotermica.

Nei capitoli successivi sarà illustrato lo studio tecnico/economico per la realizzazione di un impianto geotermico per alimentare una rete di teleriscaldamento nel Comune di Mazara del Vallo. A fine rapporto saranno inoltre discusse alcune possibili applicazioni di utilizzo diretto del calore geotermico da utilizzare in cascata. L'analisi qui descritta esemplifica le operazioni necessarie alla valutazione della risorsa energetica e lo sviluppo di progetti tecnico-impiantistici e comprende l'analisi ambientale, economica e la descrizione dell'iter autorizzativo per la realizzazione dell'impianto descritto. Lo studio può essere considerato dimostrativo di un iter procedurale ogni qualvolta si intenda realizzare impianti analoghi.

Mazara del Vallo è un comune costiero di circa 50.000 abitanti che sorge all'estremità meridionale della provincia di Trapani, lungo la costa sud-occidentale della Sicilia. Il territorio comunale

presenta un'estensione di circa 275 km² ed ha una densità media di abitanti di circa 190 ab/km². La collocazione geografica del sito è rappresentata in *Figura 1*. L'area di studio (*Figura 2*) è caratterizzata da una morfologia prevalentemente pianeggiante costituita da modesti rilievi collinari degradanti dolcemente verso il mare ed è attraversata dal fiume Mazaro e dal fiume Delia (denominato Arena nel tratto vicino alla linea di costa). Essa ha un'estensione di circa 50 km² e, dal punto di vista amministrativo, ricade all'interno del comune di Mazara del Vallo (TP). Le quote altimetriche del

territorio variano in genere tra 0 e 30 m s.l.m.

Chi volesse approfondire gli studi di valutazione della risorsa qui sinteticamente riportati può contattare il Coordinamento, tramite il sito web di progetto (<http://www.vigor-geotermia.it>), o contattare il CNR (coordinamento generale, CNR-IGG di Pisa, Dott.ssa Manzella e il coordinamento attività di valutazione dell'area di Mazara del Vallo, CNR-IGG di Pisa, Dott. Montanari). Per approfondimenti sugli studi dell'impianto contattare il CNR-IPCF di Cosenza, Ing. Lombardo. ■

Figura 1.
Collocazione
geografica del sito



1. Caratteristica della risorsa geotermica e dell'utilizzo proposto

1.1 La risorsa geotermica

Lo studio di pre-fattibilità, che aveva preceduto le analisi qui riportate, ha indicato la possibile presenza di un serbatoio geotermico regionale caratterizzato al suo interno da bassi gradienti di temperatura. Seguendo questo modello concettuale preliminare si potrebbe quindi ipotizzare che per ridurre al massimo i costi di un impianto geotermico la scelta più ragionevole sia quella di pianificare un'eventuale perforazione in corrispondenza degli alti strutturali al cui interno dovrebbero circolare fluidi con temperature confrontabili a quelle presenti nelle porzioni profonde del serbatoio, così minimizzando al massimo il costo di perforazione.

Sebbene a scala regionale sia lecito fare questo tipo di considerazione, spostandosi ad una scala di dettaglio i dati esistenti indicano come non sempre questo principio sia applicabile in tutti i siti. Localmente, infatti, particolari condizioni geologiche e idrogeologiche possono portare ad un discostamento da queste modalità di circolazione. Gli studi condotti nell'ambito dello studio di fattibilità tecnica hanno cercato quindi di dettagliare al meglio le modalità di circolazione dei fluidi termali in corrispondenza degli alti strutturali e in particolare dell'alto strutturale raggiunto dal sondaggio ENI Gazzera-1, con lo scopo di definire quali siano i siti più idonei per cercare di reperire la risorsa geotermica presente in quest'area.

1.1.1 Assetto geologico e idrogeologico

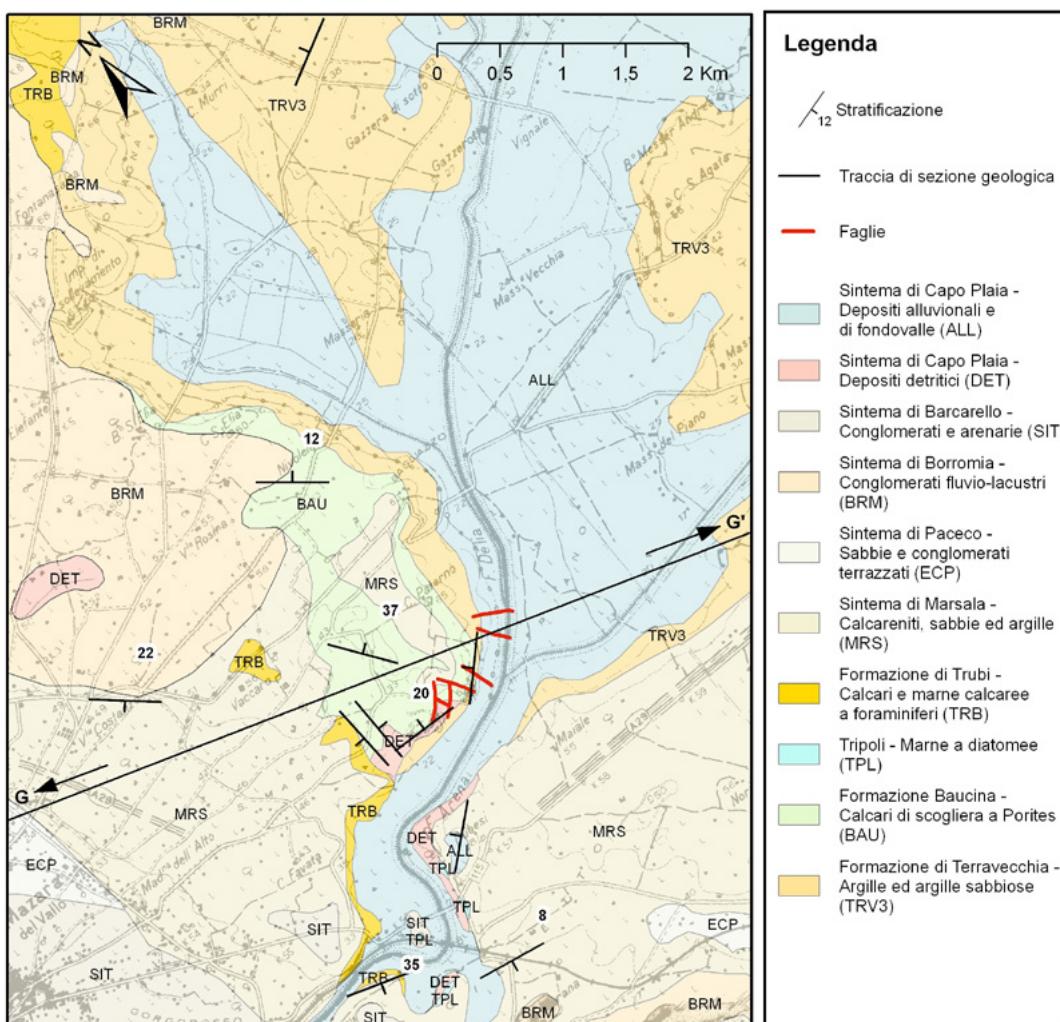
Durante questa seconda fase di caratterizzazione sono stati condotti studi e rilievi geologici, morfotettonici e idrogeologici concentrati dell'area di studio di dettaglio (50 km^2) e della fascia collinare retrostante l'abitato di Mazara del Vallo. I risultati del rilevamento geologico di superficie sono stati condensati in una apposita cartografia di dettaglio (Figura 2 e Allegati 1-2).

Nell'area d'indagine affiorano tipiche successioni terrigene costituite da depositi clastici continentali e marini del Tortoniano - Pleistocene inferiore di avanfossa o dei bacini satelliti (Catalano & D'Argenio, 1982; Catalano *et al.*,

1982; Catalano *et al.*, 1996). Questi terreni ricoprono una pila di carbonati meso-cenozoici di piattaforma carbonatica e carbonatico-pelagica (Trapanese-Saccense), e le relative coperture terigene oligo-mioceniche, note nel dettaglio grazie ai pozzi di ricerca dell'AGIP, oggi ENI s.p.a. (AGIP, 1977). Tali terreni affiorano estesamente al di fuori dell'area di indagine (Monti Sicani e Monti di Trapani) (Figura 3 e Allegato 2).

In un'ampia fascia costiera, sui terreni precedenti seguono depositi marini prevalentemente conglomeratico-arenacei del Pleistocene medio-superiore. Questi depositi, di potenza generalmente alquanto ridotta, ricoprono lembi

Figura 2.
Carta geologica
dell'area di studio
di dettaglio, per la
sezione geologica si
veda l'Allegato 3



di ampie superfici di abrasione terrazzate, separate da rive e/o falesie, disposte in più ordini, che si estendono dal livello del mare sino a circa 150-170 m s.l.m. (Di Maggio *et al.*, 2009). Sulle superfici di abrasione, sono localmente presenti depositi continentali prevalentemente colluviali.

Le successioni terrigene, evaporitiche e clasticocarbonatiche mio-plioceniche si sono deposte in corrispondenza di depressioni morfostrutturali di un edificio tettonico in via di formazione (bacini satellite e di thrust-top) durante una fase tettonica compressiva, attiva dal Miocene inferiore - medio, responsabile della creazione dell'edificio strutturale ed idrostrutturale.

Questi terreni sono stati, a loro volta, deformati da una seconda fase plicativa transpressiva, databile al Pliocene medio-superiore, che li ha organizzati in sistemi di pieghe con lunghezza d'onda chilometrica ed assi prevalentemente orientati E-O, NO-SE e SO-NE (Catalano *et al.*, 1996; Catalano, 1988). Queste deformazioni hanno interessato il sistema più antico, producendo sistemi di faglie inverse ad alto angolo fuori sequenza. Le geometrie di queste strutture di regola corrispondono all'assetto tettonico dei corpi carbonatici sepolti.

Solo localmente, si può avere la mancata coincidenza tra il nucleo delle sinclinali e le depressioni

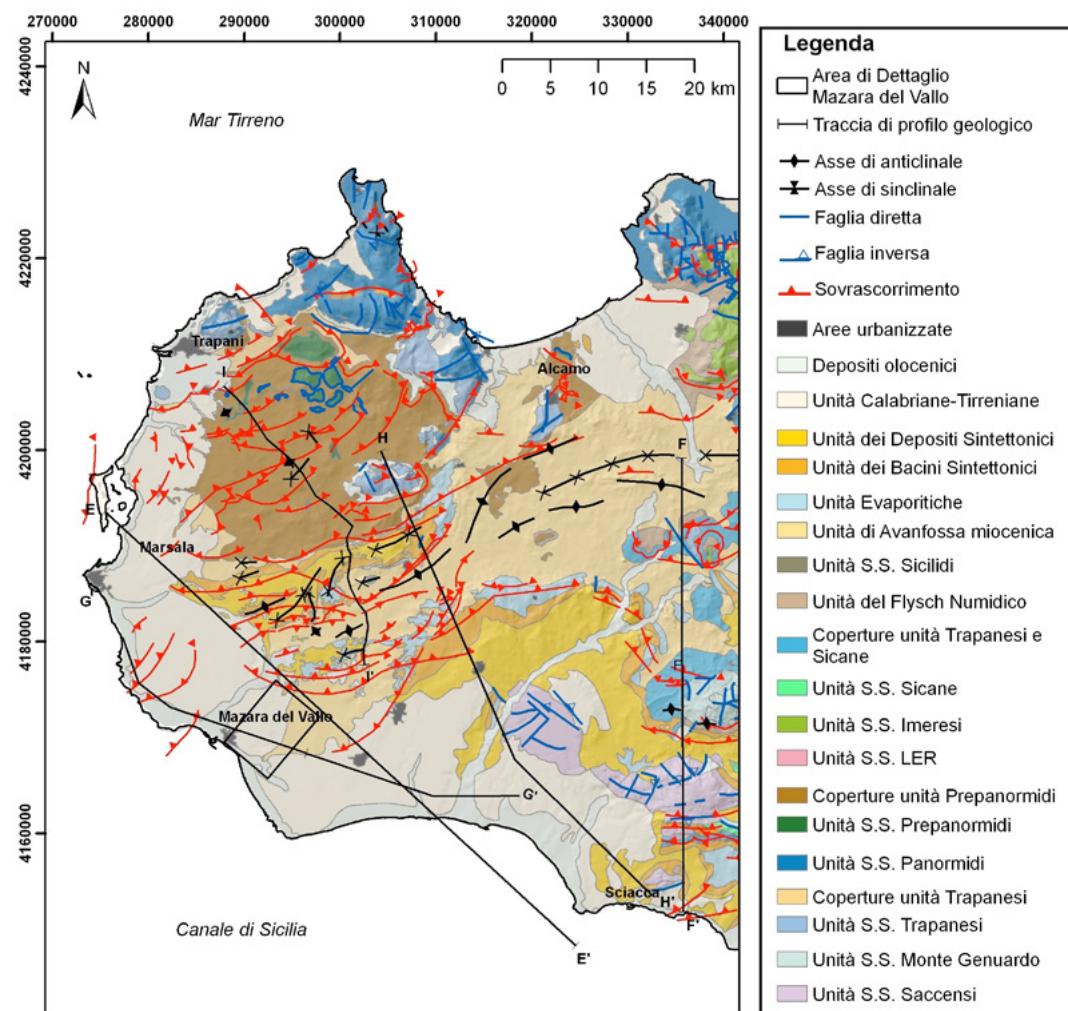


Figura 3.
Schema geologico-strutturale della Sicilia occidentale

strutturali dell'edificio tettonico sepolto. Alcuni autori riportano nell'area investigata anche gli effetti della tettonica distensiva pleistocenica, con faglie, spesso a componente orizzontale, con andamento generalmente NE-SO. In realtà le indagini strutturali e morfotettoniche condotte durante questo studio non hanno mostrato evidenze di tale tettonica. Anche l'interpretazione dei profili sismici mette in luce il ruolo preponderante della tettonica compressiva e/o transpressiva, mentre generalmente blandi risultano gli effetti di quella distensiva e/o transtensiva.

L'analisi morfostrutturale condotta in quest'area si è basata sia su una prima interpretazione delle forme geomorfologiche tramite analisi stereoscopica delle foto aeree del 1987 in scala 1:10.000 circa (volo Assessorato Territorio e Ambiente–Regione Sicilia) messe a disposizione dell'Ufficio Tecnico del Comune di Mazara del Vallo, che sulle verifiche dirette effettuate in campo.

In particolare, l'analisi morfostrutturale delle foto aeree ha permesso di riconoscere elementi morfologici difficilmente individuabili soltanto attraverso l'osservazione in campagna in un'area prevalentemente sub-pianeggiante, nonché di evidenziare il ruolo svolto dalla neotettonica sull'evoluzione geomorfologica dell'intera area, oltre che a definire l'influenza esercitata dall'assetto geologico-strutturale dei terreni nei confronti dell'azione dei prevalenti processi geomorfologici. La complessa evoluzione tettonica dell'area ha come conseguenza diretta che le unità carbonatiche mesozoiche sono caratterizzate da un elevato grado di fratturazione. I complessi prevalentemente carbonatici presentano quindi una elevata permeabilità per fratturazione mentre sono sepolti al di sotto delle relative coperture terrigene che a causa della loro composizione litologica presentano bassa o nulla permeabilità e da potenti spessori di depositi clastico-terrigeni dell'avansfossa miocenica e sintettonici pliocenici, costituiti da orizzonti a diverso grado di permeabilità che

danno origine ad acquiferi spesso multifalda. Nei settori circostanti l'area d'indagine sono invece presenti in affioramento complessi carbonatici e carbonatico-silicoclastici, fratturati e più o meno carsificati, che ospitano importanti acquiferi, alcuni dei quali di una certa rilevanza. Dati geofisici e geologici evidenziano una sostanziale continuità tra le parti affioranti e quelle sepolte dei complessi carbonatici (si vedano gli *Allegati 1, 2, 3 e 4*).

Dal punto di vista idrogeologico, l'edificio tettonico sepolto è costituito da diverse unità idrostrutturali sovrapposte che si ricollegano con le idrostrutture affioranti (Montagna Grande, Monte San Calogero di Sciacca; Monte Magaggiaro, Pizzo Telegrafo etc.). I rapporti geometrici ed idraulici tra le idrostrutture sepolte sono soltanto ipotizzabili e non possono essere definiti nel dettaglio. Gli alti morfostrutturali presenti al di fuori dell'area di studio (Monti Sicani, Monti di Trapani) la cui ossatura è costituita prevalentemente da rocce calcareo-dolomitiche di piattaforma, permeabili per fratturazione e/o carsismo, potrebbero rappresentare le principali aree di ricarica degli acquiferi sepolti, intercettati dai vari pozzi per ricerche di idrocarburi. I sistemi di faglie possono fungere da vie preferenziali per la risalita delle acque calde, mentre nelle aree strutturalmente depresse sono presenti le coperture terrigene e clastico-terrigeni. In base ai dati sinora acquisiti, è plausibile ritenere che le strutture affioranti continuino al di sotto delle coperture terrigene e clastico-terrigeni, nonché dei depositi di avansfossa e sintettonici dell'area di Mazara del Vallo. Questo contesto idrostrutturale risulta in definitiva favorevole alla presenza di una risorsa geotermica di media entalpia, ospitata nei settori di serbatoio carbonatico confinati dal potente spessore di successioni clastico-terrigena (nell'insieme acquitardo-acquichludo) ed alimentata essenzialmente dalle parti affioranti degli stessi termini carbonatici.

1.1.2 Indagini geochimiche

Successivamente alla consegna del rapporto di pre-fattibilità sulla geochemica delle sorgenti della Sicilia occidentale si sono resi disponibili i seguenti dati di pozzo perforati da Agip (oggi ENI), a cavallo tra gli anni '50 e '60. Quattro di questi pozzi, ovverosia: Biddusa, Lippone-1, Gazzera-1 e Contrada Triglia-1, sono situati nell'area a NE di Mazara del Vallo. La loro ubicazione, unitamente a quella di altri pozzi della Sicilia occidentale, è visibile in *Figura 4*. I dati sono stati prodotti a seguito di campionamenti, verosimilmente a fine perforazione, durante le prove di produzione, principalmente si immagina per verificare la presenza negli strati sedimentari di olio e/o metano. In generale è da presumere che, per quanto i pozzi fossero stati puliti dal fango di perforazione, certamente un qualche inquinamento del fango stesso deve essere stato presente al momento del campionamento, dato che tra le

finalità del campionamento probabilmente c'era solo la necessità di una conoscenza approssimativa del chimismo dei fluidi di strato. Ed in effetti i dati sono largamente incompleti e, spesso, lo stesso analista riporta tra le note a margine delle analisi, la presenza di residui inquinanti del fango di perforazione. In quest'ottica, appare poco ragionevole fare considerazioni approfondite tra chimismo e temperatura, mentre resta valido fare un'analisi complessiva dei risultati a scala regionale.

Dal punto di vista del chimismo generale, tutte le acque presenti nei pozzi sono a dominante componente clorurato sodica anche se solo le acque dei pozzi di Sciacca mostrano rapporti simili all'acqua di mare attuale, ed anche in simili rapporti ionici alle acque delle sorgenti. Per tutti gli altri pozzi, indipendentemente dalla salinità, e quindi da eventuali diluizioni con acque superficiali a bassa salinità che si infiltrano e che diluiscono l'eventuale composizione salina

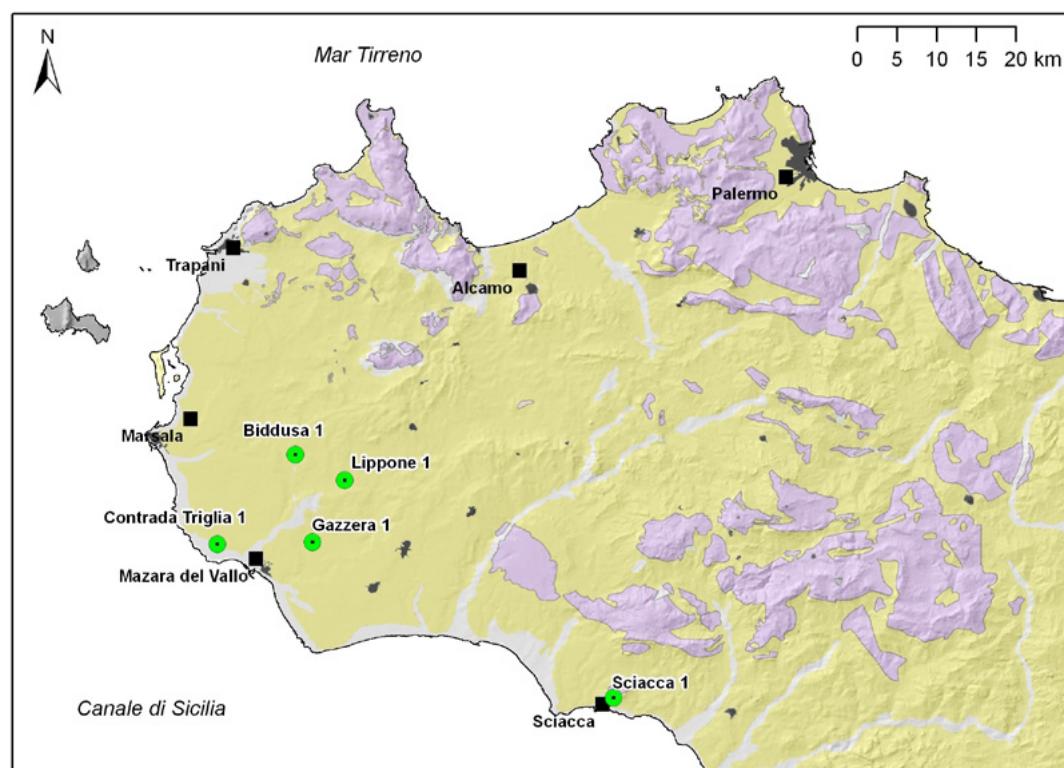


Figura 4.
Ubicazione dei pozzi Agip-ENI esaminati (cerchi verdi), in viola sono indicate le aree di affioramento delle rocce che costituiscono il serbatoio regionale, in giallo le aree di affioramento delle coperture

profonda, bisogna rimarcare un certo grado di interazione acqua-roccia, nonché probabile riequilibrizzazione dei fluidi profondi.

Fermo restando il fatto che le acque clorurate di cui si sta discutendo certamente non sono acque marine attuali, ma tutt'al più fossili, e che il cloruro di sodio potrebbe anche avere origine da sedimenti più recenti che percolano in basso con le piogge attuali, se si riportano in un grafico i dati di salinità o altri elementi contro la profondità non si ottiene nessuna correlazione. Tuttavia, il mare non è lontano da alcuni dei pozzi e, considerando che i carbonati in profondità sono molto spessi, e come detto in precedenza verosimilmente permeabili per fratturazione, non si può escludere che vi sia una certa connessione.

In definitiva i dati geochimici indicano che le unità carbonatiche presenti nel sottosuolo nella Sicilia occidentale:

- da una parte sono connesse con le aree di affioramento delle serie stesse, prevalentemente nelle aree settentrionali dell'isola, che ricevono ed

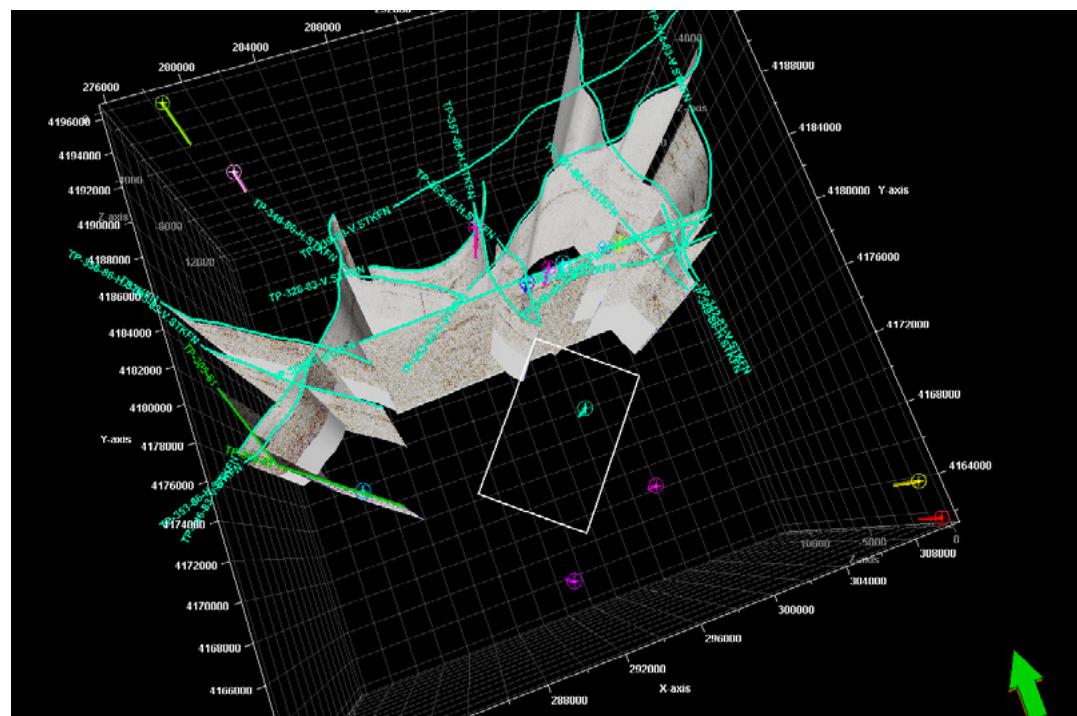
infiltrano acque fredde meteoriche,

• dall'altra potrebbero benissimo essere in comunicazione col mare. L'equilibrio tra questi due contributi all'interno dei carbonati sepolti al di sotto delle serie sedimentarie Plio-Quaternarie della parte meridionale dell'isola, ed i verosimili lenti tempi del mescolamento, potrebbero giustificare il chimismo sia dei pozzi che delle sorgenti. In questo quadro generale l'unica eccezione sarebbe rappresentata dalle sorgenti termali di Segesta che non mostrano contaminazioni consistenti da acque marine, essendo a composizione prevalentemente solfatica.

1.1.3 Indagini geofisiche

I dati geofisici hanno permesso l'individuazione in profondità delle principali strutture geologiche sepolte, in particolare delle unità carbonatiche sede di circolazione di fluidi geotermici, e dello stato termico del sottosuolo. Per la ricostruzione del tetto del basamento carbonatico Mesozoico nell'area di interesse sono stati elaborati dati di

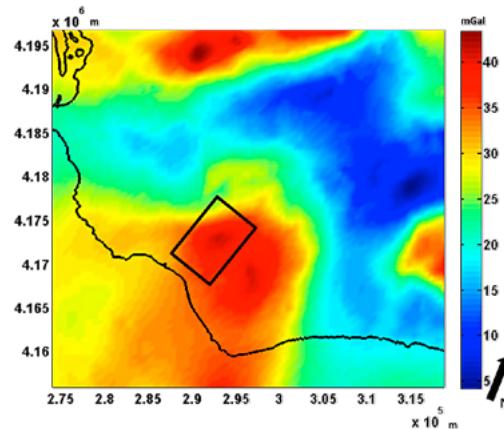
Figura 5.
Profili sismici
forniti da ENI s.p.a.
e utilizzati per la
ricostruzione del
modello geologico
3D



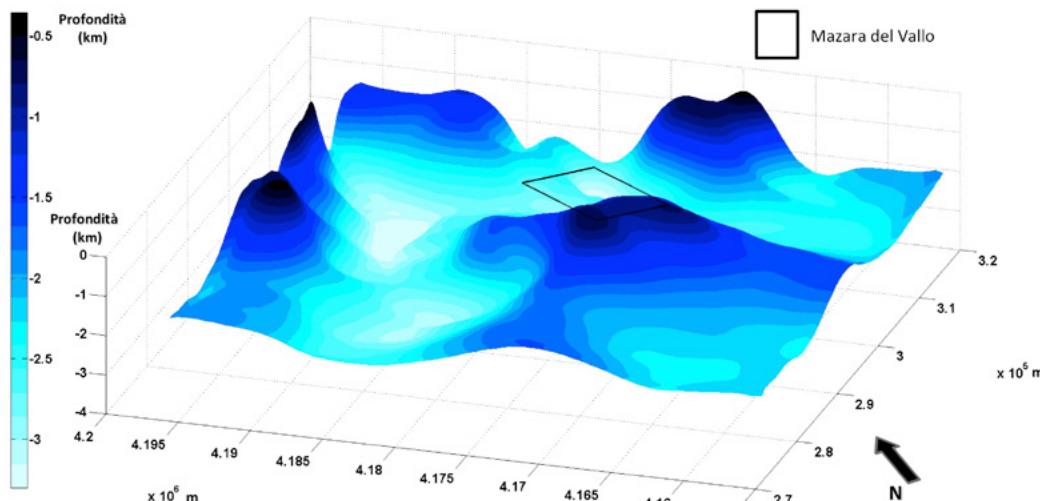
sismica a riflessione acquisiti per l'esplorazione di idrocarburi e dati gravimetrici. Dati magnetotellurici sono stati acquisiti ma si sono dimostrati di qualità non adeguata alle finalità dell'indagine.

I dati di sismica a riflessione hanno una distribuzione disomogenea nell'area, in quanto l'interesse per il quale sono stati acquisiti (ricerca di idrocarburi) ne ha determinato una concentrazione in zone particolari, precedentemente individuate dalla prospezione gravimetrica regionale. I dati considerati (*Figura 5*, ubicazione in *Allegato 5*) sono stati forniti da ENI appositamente per questo progetto e sono stati corredati da log in pozzo, comprensivi di modelli di densità e velocità sismica. L'analisi dei dati e la loro modellazione hanno permesso di ottenere sezioni geologiche interpretative lungo i profili sismici disponibili, utilizzate poi per la ricostruzione tridimensionale del tetto delle unità carbonatiche mesozoiche.

I dati gravimetrici di Bouguer (*Figura 6*) costituiscono un data set di buona definizione per le interpretazioni di strutture a livello medio-profondo, ossia di diverse centinaia di metri, e hanno permesso di vincolare l'andamento in profondità del tetto delle unità carbonatiche soprattutto in aree prive di informazioni (pozzi esplorativi e dati sismici). I dati gravimetrici sono stati elaborati



per estrarre il maggior numero possibile di informazioni relative all'ubicazione delle strutture contraddistinte da sufficienti contrasti laterali di densità. Molti lineamenti individuati corrispondono a strutture già note da studi geologici; altre invece forniscono elementi nuovi per la ricostruzione geologico-strutturale dell'area. Agli scopi del presente studio il contributo principale della gravimetria è stata la ricostruzione dell'andamento del tetto delle unità carbonatiche, basata sull'individuazione del contrasto di densità tra le unità di copertura e le unità carbonatiche stesse. La modellizzazione è stata vincolata attraverso dati stratigrafici di pozzo e modelli interpretativi di dati di sismica a riflessione. I risultati sono



schematizzati in *Figura 7*.

Lo studio delle misure di temperatura e la modellistica termica hanno richiesto in prima analisi la raccolta e l'elaborazione di tutti i dati di pozzo dell'area riportati nei rispettivi master log. L'elaborazione di un modello termico si basa, infatti, sulla distribuzione tridimensionale della conducibilità termica, sui dati termici misurati e sul grado di permeabilità delle diverse unità geologiche. Sono stati studiati i pozzi che hanno attraversato le serie di copertura ed hanno raggiunto le rocce carbonatiche sede del potenziale serbatoio geotermico. Nell'*Allegato 6* sono riportate le schede di due dei tre pozzi più prossimi all'area pilota (Campobello-1 e Contrada Triglia-1). La scheda del pozzo Gazzera-1 non è presente in quanto i dati relativi a tale pozzo sono stati forniti in via confidenziale da ENI per il progetto e come tali non possono essere resi pubblici.

Dall'analisi dettagliata dei documenti riassuntivi di ciascuna perforazione e dall'interpretazione dei carotaggi elettrici, acustici e radioattivi, è stato possibile ottenere informazioni di tipo sia geologico (serie stratigrafica attraversata) sia petrofisico (porosità, grado di saturazione e natura dei fluidi).

I dati di temperatura a disposizione costituiscono un catalogo eterogeneo la cui precisione varia in funzione delle condizioni in cui queste misure sono state eseguite e dello scopo per cui sono state acquisite. I dati di pozzo non riportano l'effettiva temperatura del sottosuolo, in quanto la roccia è termicamente perturbata dall'effetto raffreddante indotto dalla circolazione del fango durante la perforazione. Di norma le temperature sono misurate subito dopo le operazioni di perforazione e le brevi soste non consentono il raggiungimento dell'equilibrio termico tra il fango in pozzo e le formazioni attraversate. Una stima della temperatura di formazione può essere comunque ottenuta attraverso metodi matematici di estrapolazione per un tempo infinito. Le temperature elaborate in questo studio provengono

principalmente dai pozzi per la ricerca di idrocarburi e afferiscono a due classi di misure: dati BHT (Bottom Hole Temperature) misurati durante le soste di perforazione e dati DST (Drill Stem Test) misurati durante le prove di produzione.

Dopo la correzione delle temperature e delle profondità per la deviazione del pozzo, è stato elaborato il modello di distribuzione della temperatura. Nell'area, estesa a tutta la Sicilia Occidentale, ricadono 14 pozzi profondi con dati BHT. Solo sei pozzi (Campobello-1, Contrada Triglia-1, Corvi-1, Gazzera-1, Lippone-1 e Mozia-1) forniscono dati di temperatura misurati nel potenziale serbatoio geotermico, al contrario lo stato termico delle formazioni di copertura è ben vincolato da numerose misure.

Dati geologici, geofisici e strutturali indicano la presenza di possibili serbatoi geotermici in corrispondenza delle formazioni carbonatiche Mesozoiche sigillate verso l'alto da potenti coperture sedimentarie Cenozoiche. Queste due unità possiedono proprietà termiche ed idrauliche opposte: le formazioni di copertura possiedono una componente argillosa prevalente e sono caratterizzate da una bassa conducibilità termica e una permeabilità idraulica trascurabile; le rocce carbonatiche sottostanti hanno una conducibilità termica medio-alta e una permeabilità per fratturazione da discreta a buona. In condizioni geologico-strutturali favorevoli, i fluidi che risalgono verso la superficie sono in grado di produrre anomalie termiche che possono essere messe in evidenza dalle temperature misurate.

In questo modello di circolazione dei fluidi geotermici, la risalita delle isoterme si accompagna sempre all'aumento del gradiente nelle rocce di copertura pressoché impermeabili ed all'abbassamento del gradiente all'interno delle formazioni molto permeabili per fratturazione dove prevalgono moti convettivi. In *Figura 8(a)* appare chiaro il contrasto tra lo stato termico delle formazioni silicoclastiche superficiali, in cui prevale un regime

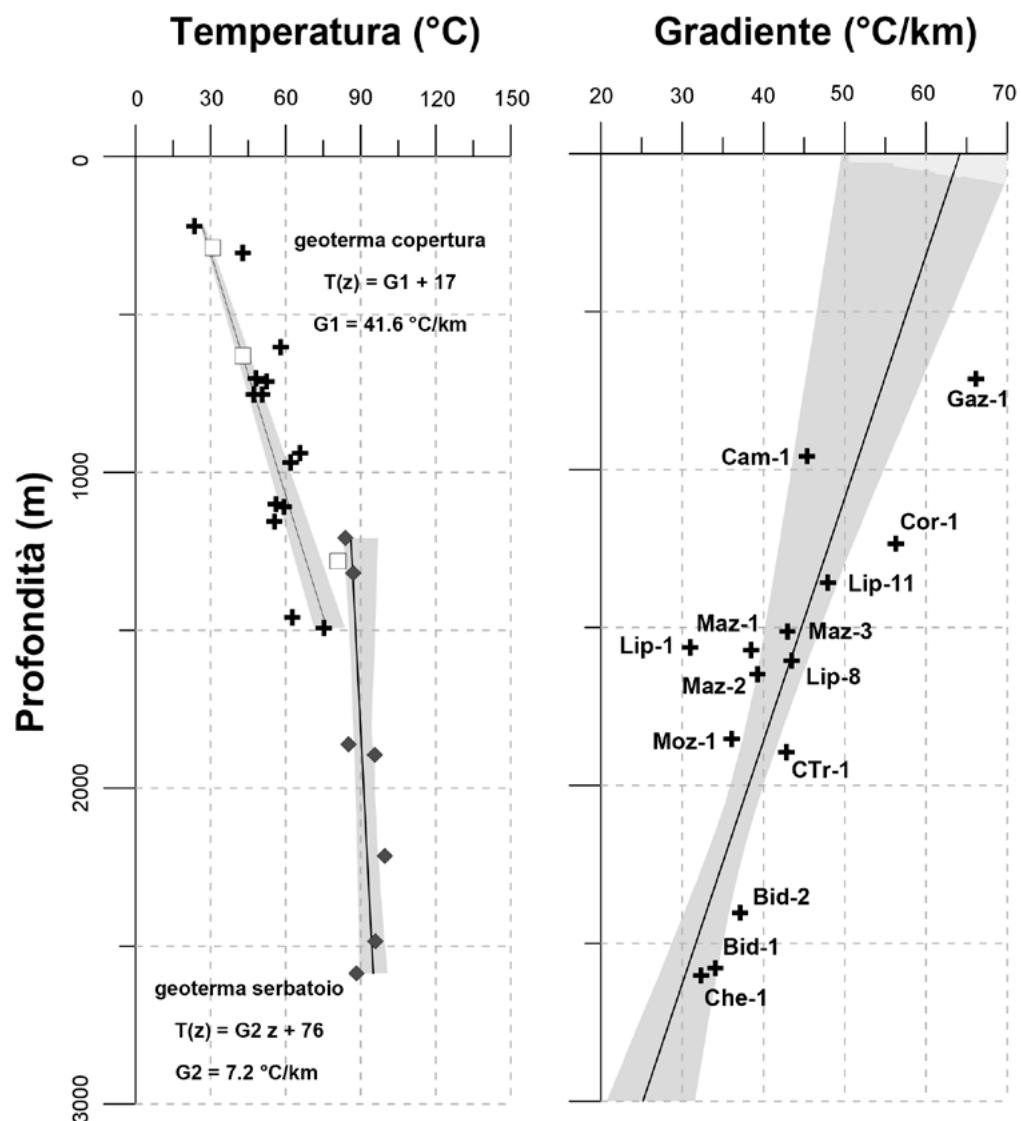
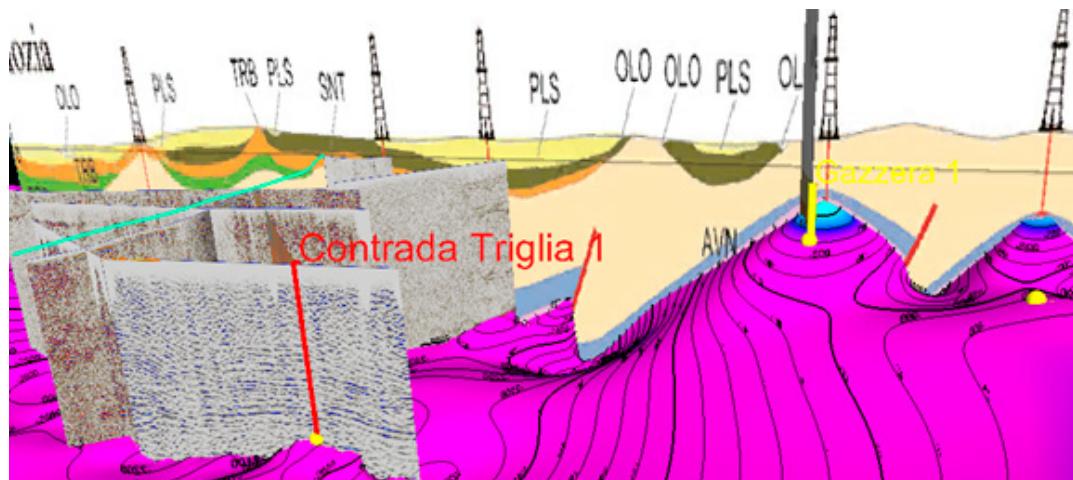


Figura 8.
Temperatura statiche in funzione della profondità (a) e gradienti geotermici di copertura in funzione della profondità del tetto del serbatoio (b). Nel grafico (a) sono distinti i dati misurati in copertura (croci) e in serbatoio (rombi), le misure DST (quadrati) e il dato BHT non corretto relativo al pozzo Corvi-1 misurato nel potenziale serbatoio. Nel grafico (b) le sigle dei pozzi sono: Bid-Biddusa, Cam-Campobello, Che-Chelbi, Cor-Corvi, CTr-Contrada Triglia-1, Gaz-Gazzera-1, Lip-Lippone-1, Maz-Mazara, Moz-Mozia. In entrambi i grafici sono riportati i risultati delle regressioni, le aree in grigio corrispondono agli intervalli di confidenza al 95% delle funzioni di regressione

di trasporto di calore puramente conduttivo caratterizzato da un gradiente geotermico medio pari a circa 42 °C/km, rispetto al campo circa isotermico delle formazioni carbonatiche mesozoiche, caratterizzato da un gradiente geotermico medio pari a 7 °C/km. Le temperature misurate nel serbatoio geotermico evidenziano mediamente un regime convettivo caratterizzato da gradienti geotermici più bassi influenzati dal grado di permeabilità. Il gradiente geotermico di copertura risulta fortemente influenzato dall'assetto strutturale e dalla

temperatura del serbatoio geotermico. In *Figura 8(b)* i gradienti geotermici misurati in copertura sono studiati in funzione della profondità del tetto del serbatoio. Nei pozzi Campobello-1, Contrada Triglia-1, Corvi-1, Gazzera-1, Lippone-1 e Mozia-1 le profondità del serbatoio derivano direttamente dai dati stratigrafici di pozzo, nei restanti pozzi le profondità sono state assegnate sulla base del modello geologico tridimensionale elaborato e descritto successivamente. Il controllo delle strutture profonde sui gradienti superficiali è

Figura 9.
Esempio di un
passaggio nel
flusso di lavoro
che ha portato alla
ricostruzione del
tetto dei carbonati
mesozoici

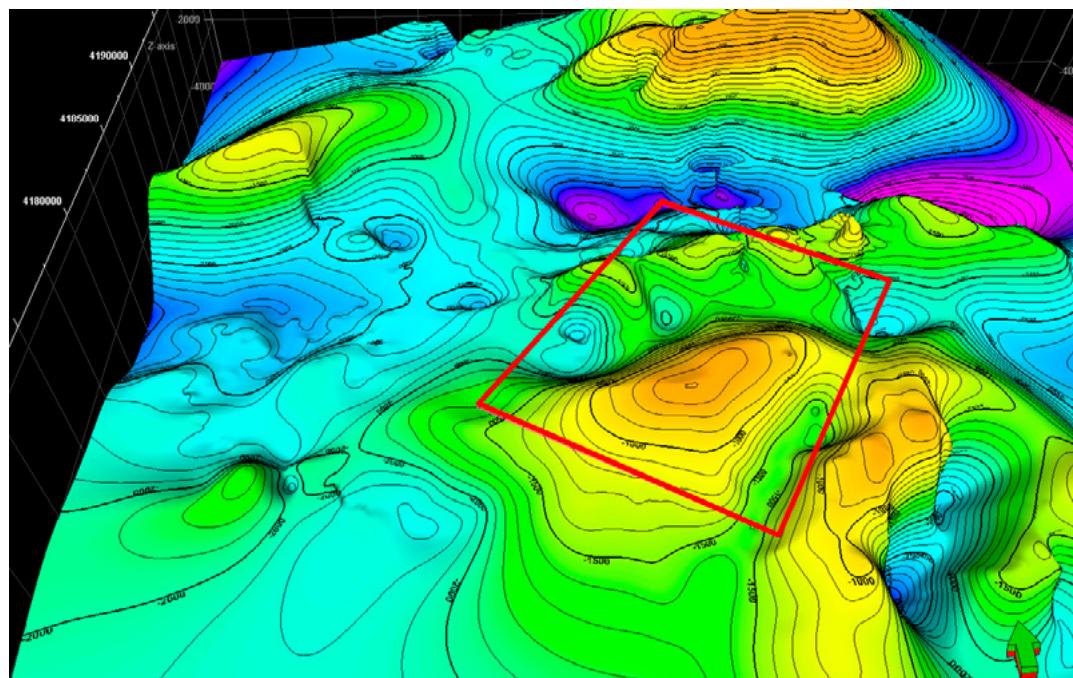


circa lineare e il gradiente di copertura decresce all'approfondirsi del tetto del serbatoio geotermico. Ne segue che le anomalie del gradiente geotermico superficiale possono indicare zone di alto strutturale accompagnate da una risalita di fluidi geotermici.

La modellistica termica ha permesso di studiare la distribuzione delle temperature in profondità a partire dai dati geologici e termici disponibili. Le temperature sono state calcolate su una griglia

di nodi tridimensionale con equidistanza pari a 100 m lungo le tre direzioni. Sono stati presi in considerazione la topografia e la variazione della temperatura superficiale media annua in funzione della quota e della latitudine. I gradienti geotermici misurati in copertura e in serbatoio hanno consentito di estrapolare le curve di isogradiente e calcolare le temperature in profondità. Per meglio vincolare le estrapolazioni ed eliminare gli effetti di bordo, sono stati studiati anche i dati termici dei

Figura 10.
Ricostruzione
tridimensionale
del tetto delle
unità carbonatiche
mesozoiche



pozzi esterni all'area di studio. I risultati ottenuti permettono di stimare le temperature al tetto delle unità carbonatiche mesozoiche. Queste aumentano allontanandosi dalle zone di affioramento e negli alti strutturali, sufficientemente lontani dalle aree di ricarica e in cui ci sia una efficace circolazione dei fluidi termali, la temperatura al tetto del serbatoio è compresa tra 80–90 °C.

1.1.4 Modello geologico 3D

Incrociando i dati di superficie (carte geologiche disponibili) con quelli di sottosuolo sia diretti (stratigrafie dei pozzi per idrocarburi) che indiretti (sezioni geologiche, interpretazione di gravimetrie e dei numerosi profili sismici) è stato possibile riconoscere la continuità spaziale delle unità litostratigrafiche e definire anche in profondità l'assetto strutturale dell'edificio tettonico (*Figura 9*). In particolare, nelle aree dove erano presenti dati di pozzo e linee sismiche è stata portata avanti una procedura di taratura del dato gravimetrico che, una volta calibrato con questi dati, è stato utilizzato per la ricostruzione delle superfici geologiche nelle zone dove non esistevano ulteriori dati diretti o dove, come nel caso del pozzo Gazzera-1, esisteva un solo punto per vincolare il tetto delle unità carbonatiche.

Come si può vedere in *Figura 10* in quest'area sono presenti diversi alti e bassi strutturali che rendono questa superficie molto articolata anche se rimane ben leggibile una certa continuità laterale

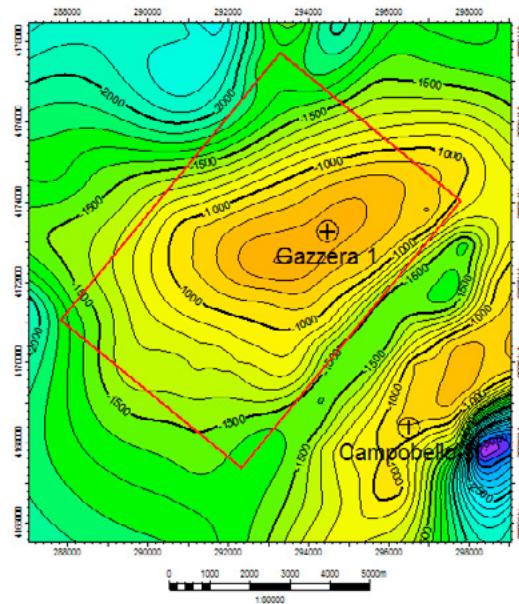


Figura 11.
Mappa del tetto delle unità carbonatiche, il poligono rosso indica l'area del modello termo-fluido-dinamico

dei carbonati mesozoici. In particolare è possibile notare come nel sottosuolo dell'area di studio di dettaglio (poligono rosso in *Figura 10*) sia presente un alto strutturale (una thrust anticline) separato attraverso una stretta fossa (sinclinale associata all'anticlinale) da un altro alto strutturale (alto di Campobello di Mazara) anch'esso riconducibile a geometrie associate a sovrascorimenti; entrambe queste strutture sono orientate circa NE-SO. Spostandosi verso Nord queste strutture sembrano terminare contro l'alto strutturale di Lippone, incontrato da molti pozzi per la ricerca di idrocarburi e sede di un campo a gas all'interno dei depositi terrigeni miocenici.

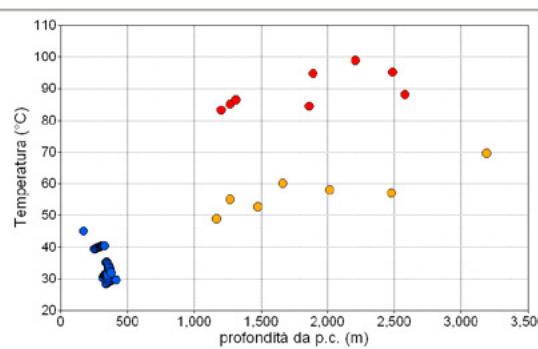
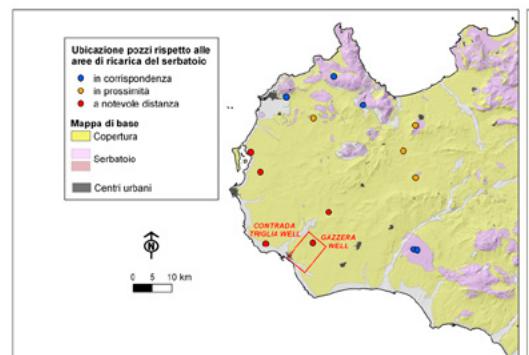


Figura 12.
Misure di temperatura all'interno del serbatoio carbonatico:
a) Schema degli elementi idrostrutturali ed ubicazione dei pozzi di misura della temperatura nel serbatoio carbonatico; b) temperature in serbatoio in relazione alla profondità di misura

Figura 13.
Punti rappresentativi
del carico
piezometrico nel
serbatoio carbonatico
e relativi valori tra
parentesi (in m s.l.m.)



L'alto strutturale di Lippone è orientato circa Est-Ovest ed è il risultato di sovrapposizioni tra rampe laterali di scaglie tettoniche caratterizzate da una limitata estensione laterale. Spostandosi ancora più a nord il tetto delle unità carbonatiche tende ad immergersi ulteriormente, raggiungendo le massime profondità (oltre i 4.000 metri sotto il livello del mare) per poi rialzarsi rapidamente nell'area di Montagna Grande dove queste unità arrivano ad affiorare nel tetto di un importante sovrascorrimento sviluppatosi a scala regionale.

La mappa del tetto delle unità carbonatiche presenti nel sottosuolo dell'area di studio viene riportata in *Figura 11*.

1.1.5 Modello concettuale

I dati di temperatura relativi al serbatoio carbonatico, nonché derivanti dall'elaborazione (si veda il paragrafo Dati Geofisici) dei valori registrati in una serie di pozzi più o meno profondi, vengono rappresentati in *Figura 12* sia in funzione della profondità a cui si riferiscono, sia della distanza dalle aree in cui affiorano i complessi carbonatici implicati in strutture a carattere regionale.

Sulla base di questo elaborato è possibile asseuire che all'interno del serbatoio carbonatico è documentato un gradiente termico di circa 10 °C/

km, sia nelle zone prossime, sia in quelle distali, rispetto alle potenziali aree di ricarica. E' inoltre evidente come allontanandosi da queste ultime, i valori assoluti di temperatura aumentino, raggiungendo i 90-100 °C circa nei settori più distali della parte confinata di serbatoio. Queste informazioni sono quindi in accordo con l'esistenza di un serbatoio a scala regionale, interessato da una significativa componente convettiva della circolazione idrica ed alimentato dalle aree di affioramento dei complessi carbonatici. Anche i dati piezometrici disponibili sono del tutto compatibili con l'esistenza di un acquifero regionale. Di fatto, considerando le quote di emergenza delle manifestazioni idrotermali ed i livelli piezometrici derivati da misure dirette o dedotti dall'elaborazione dei dati di prove di strato, si può verificare che i carichi idraulici mostrati da questi punti rappresentativi della circolazione idrotermale si attestano su un ristretto intervallo di quota, compreso tra 40 e 60 m s.l.m. (*Figura 13*).

In sintesi, la revisione integrata di tutti i dati raccolti e delle elaborazioni effettuate ci ha permesso di schematizzare il funzionamento del serbatoio in oggetto ospitato all'interno delle unità carbonatiche mesozoiche: le principali aree di infiltrazione delle acque meteoriche e quindi di ricarica del sistema corrispondono alle aree di affioramento delle unità carbonatiche e in particolare nelle aree di Montagna Grande e dei Monti Sicani.

Lo studio del bilancio idrogeologico per la Sicilia occidentale e del chimismo delle acque che circolano all'interno del serbatoio indicano inoltre che le coperture terrigene, a luoghi, possono essere zone minori di infiltrazione delle acque meteoriche (*Figura 14*). Le acque di ricarica che si infiltrano dalle principali zone di affioramento delle unità di serbatoio tendono a scaldarsi man mano che si approfondiscono (con un gradiente di circa 10 °C a km), fino a raggiungere una temperatura di circa 90-100 °C nelle parti sommitali di serbatoio più lontane dalle principali zone

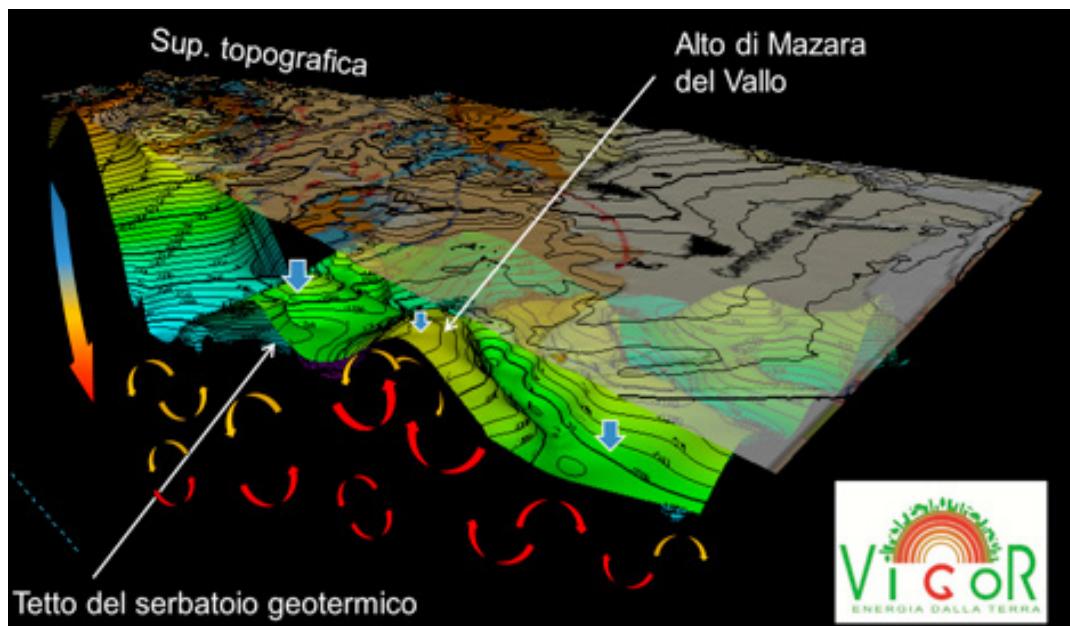


Figura 14.
Modello schematico
di circolazione
all'interno del
serbatoio geotermico

di ricarica. Nelle parti sepolte del serbatoio, le acque termali si muovono seguendo moti convettivi, più o meno efficaci in base alle permeabilità, che tendono ad omogeneizzare le temperature all'interno del serbatoio. Scendendo all'interno del serbatoio le temperature tendono ad aumentare con un basso gradiente medio di circa 7 °C/km. Seguendo questo modello concettuale è quindi possibile spiegare il perché nelle zone di alto come quella raggiunta dal pozzo Gazzera-1 all'interno dell'area di studio di dettaglio, si ritrovino temperature (circa 90 °C) caratteristiche, seguendo la logica del gradiente geotermico, delle zone più profonde del serbatoio. Gli alti strutturali vengono quindi a comportarsi come “trappole geotermiche” nelle quali è possibile intercettare i fluidi con termalità tipiche dei settori più profondi del serbatoio. Queste aree sono quindi potenzialmente le migliori per progettare una coltivazione geotermica, in quanto richiedono una minore profondità di perforazione e quindi minori costi.

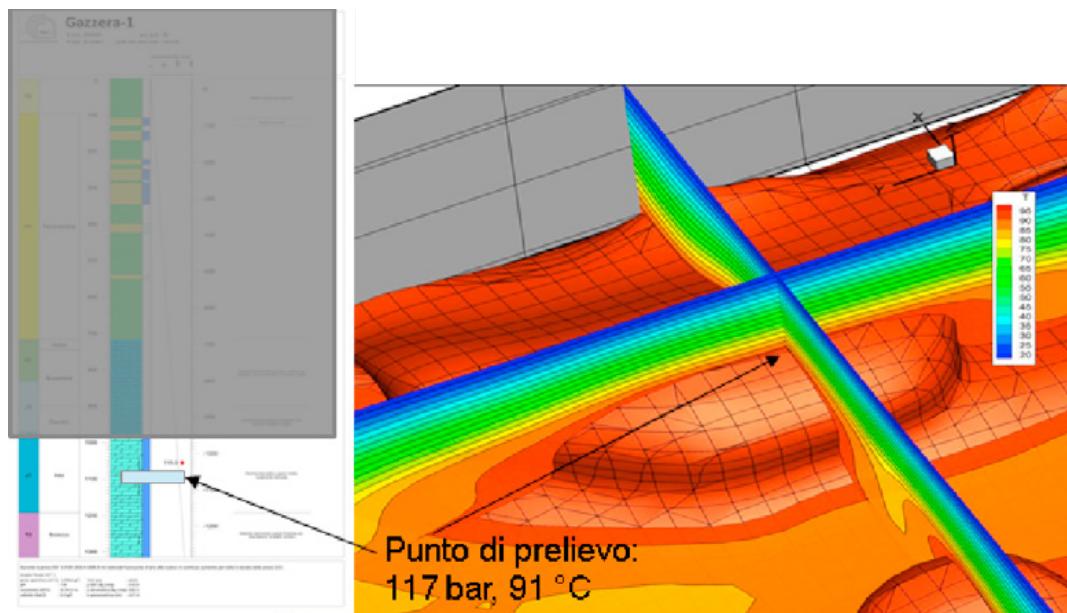
La ricostruzione globale della superficie del serbatoio ottenuta con questo studio, permette comunque di stimare la profondità anche in altre zone, e quindi di procedere alla stima dei costi di

perforazione che, insieme ad altri fattori (distanza dalla domanda energetica, fattori logistici, vincoli di vario tipo) determinano la progettazione dell'impianto e dei relativi costi.

1.1.6 Descrizione della risorsa

Per poter valutare quali siano le modalità più efficaci e sostenibili di utilizzo della risorsa geotermica presente è stato eseguito un modello di serbatoio (*Figura 15*). Il modello è stato calcolato con il pacchetto software TOUGH2-EWASG per poter includere nel calcolo la salinità delle acque. Per la modellizzazione è stata presa in esame una porzione del serbatoio geotermico posta a NE dell'abitato di Mazara Del Vallo, in corrispondenza dell'alto strutturale sepolto già incontrato dal pozzo Gazzera-1. La revisione dei dati relativi al pozzo Gazzera-1 ha evidenziato come, per questo limitato settore, la parte alta delle unità carbonatiche mesozoiche non sembrerebbe essere interessata da una evidente circolazione di fluidi termali. Seppure i dati esistenti non siano sufficienti a spiegare questa peculiarità e non sia possibile estrapolare con certezza a tutta l'anticlinale sepolta quanto ricostruito per il pozzo

Figura 15.
Vista di dettaglio della struttura convettiva ascendente, con punto di prelievo correlato con il log del pozzo Gazzera-1; la rotazione è arbitraria, la dimensione verticale (Z) è esagerata di 5 volte



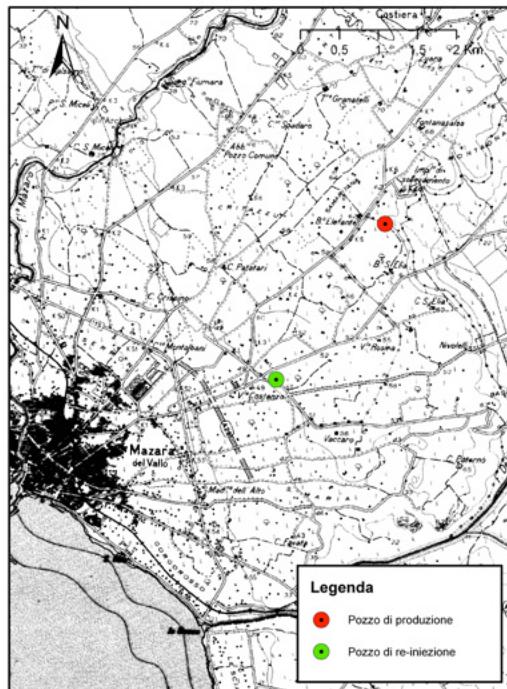
Gazzera-1, si è deciso, in maniera cautelativa, di considerare come effettivo serbatoio solo quella porzione di unità carbonatiche poste alla base della Formazione del Rosso Ammonitico. Le prime evidenze di presenza di mineralizzazioni

ad acqua termale sono, infatti, state riscontrate all'interno della Formazione Inici, circa 100 metri al di sotto del tetto della formazione.

Data la buona definizione del regime di ricarica, possiamo già definire la condizione di “utilizzo sostenibile” del sistema come la condizione che, a lungo termine, non crea una significativa diminuzione della pressione di fondo pozzo. Per le prove di produzione abbiamo effettuato vari calcoli a flusso costante per verificare la condizione di PWB (Pressure Well Bottom – Pressione a fondo pozzo) risultante; questa condizione risulta di fondamentale importanza perché consente di calcolare il livello di risalita del fluido geotermico in pozzo, e quindi la profondità minima per il posizionamento della pompa di estrazione. In base allo studio della risorsa e tenendo conto delle esigenze legate all'ubicazione dei possibili utilizzatori della risorsa sono stati individuati due siti (*Figura 16* e *Allegato 7*) per l'ubicazione dei pozzi geotermici che dovranno andare a servire gli impianti ipotizzati e che sono stati utilizzati nella simulazione.

Nella valutazione della risorsa si è verificata la risposta del sistema all'estrazione di fluido dal sottosuolo; tenendo conto della condizione di ricarica

Figura 16.
Ubicazione dei pozzi di estrazione e re-iniezione del fluido geotermico



regionale, la simulazione numerica indica che il sistema risulta utilizzabile a 20 anni fino a circa 12 kg/s: oltre tale valore la pressione a fondo pozzo subirebbe diminuzioni troppo drastiche. Anche l'effetto della re-iniezione totale di fluido nel sottosuolo è stata verificata, tenendo conto di alcuni accorgimenti per non gravare troppo sul bilancio economico. In questo caso il modello ha simulato l'effetto di una coppia di pozzi (doppietto), uno di estrazione e uno di re-iniezione con una distanza tra iniezione ed estrazione di circa 2,5 km, e collocato lungo il margine superiore dell'alto strutturale che interessa il tetto del serbatoio.

Considerata la struttura ed il regime idrogeologico, la collocazione “a valle” del pozzo di re-iniezione rispetto a quello di estrazione è stata decisa per assecondare, almeno in parte, il flusso naturale dell’acquifero.

Utilizzando una temperatura di re-iniezione di 36 °C stimata dall’ipotesi impiantistica (portata di estrazione di 30,6 kg/sec), la simulazione numerica indica che a 20 anni di utilizzo si osserva l’arrivo della prima acqua fredda al pozzo di estrazione.

1.2 Proposta tipologia di utilizzo

Il presente studio di fattibilità tecnica/economica si riferisce ad una applicazione per l'utilizzo della risorsa geotermica per il riscaldamento e il raffrescamento di edifici mediante una rete di distribuzione con produzione centralizzata del fluido termovettore.

A questo scopo, sono state analizzate due possibili soluzioni:

- realizzazione della sola rete di teleriscaldamento con produzione centralizzata di energia termica e successiva produzione decentrata di acqua gelida mediante gruppi frigoriferi ad assorbimento installati presso le singole utenze;
- realizzazione di una duplice rete di distribuzione dell’energia termica (teleriscaldamento) e frigorifera (teleraffrescamento).

Basandosi sui dati raccolti ed analizzati nei precedenti paragrafi, l’ubicazione dei pozzi di produzione e di re-iniezione è stata pensata in modo che il fluido estratto venisse reimmesso nel serbatoio a valle del punto di prelievo in modo che non andasse ad interferire con la temperatura del fluido in produzione. In particolare si prevede che il pozzo di produzione vada ad intercettare la risorsa geotermica ad una profondità di circa -1.300 m slm. Il pozzo di re-iniezione dovrebbe raggiungere il tetto del serbatoio regionale ad una profondità di circa 1.450 m slm.

Per lo studio in esame, si ipotizza di utilizzare un fluido geotermico proveniente da un pozzo di produzione (in rosso in *Figura 16*), con le seguenti caratteristiche:

- temperatura: 92 °C
- portata: 110 t/ora

Il fluido geotermico, dopo essere stato utilizzato all’interno della centrale di teleriscaldamento, sarà re-iniettato nel serbatoio geotermico tramite il pozzo di re-iniezione individuato dal simbolo verde in *Figura 16*.

1.2.1 Caratteristiche principali impianto

Nel presente studio, sarà analizzata e sviluppata la soluzione relativa alla realizzazione della sola rete di teleriscaldamento con produzione centralizzata di energia termica e successiva produzione decentrata di acqua gelida mediante gruppi frigoriferi ad assorbimento installati presso le singole utenze. La realizzazione di una duplice rete di distribuzione dell’energia termica (teleriscaldamento) e frigorifera (teleraffrescamento) comporta infatti una duplicazione di reti di distribuzione ed in particolare la rete di teleraffrescamento risulta molto costosa, in quanto tale tipo di rete viene dimensionata con una temperatura di mandata di 6 °C e una temperatura di ritorno di 12 °C, quindi con una differenza di temperatura tra le due tubazioni molto piccola, cioè di soli 6 °C.

Invece, in un tradizionale sistema di teleriscaldamento ad acqua calda, se le temperature di mandata e ritorno sono come d'abitudine di 90 °C e 65 °C rispettivamente, la differenza di temperatura tra mandata e ritorno della rete è di 25 °C, cioè 4 volte superiore rispetto al caso di rete di teleraffreddamento.

Questo significa che a parità di potenza trasportata, la rete di teleraffreddamento richiede una portata di acqua gelida in circolazione oltre 4 volte superiore a quella richiesta per una rete di teleriscaldamento, con conseguente pesante impatto per l'incremento dei diametri di rete sul costo di investimento.

Occorre inoltre tenere presente che nel caso della rete di teleraffrescamento la temperatura di mandata, fissata a 6 °C, che corrisponde al minimo valore ottenibile con l'installazione dei gruppi frigoriferi ad assorbimento necessari per l'utilizzo del calore geotermico, coincide con la temperatura di mandata del circuito secondario di utenza e quindi non è possibile interporre uno scambiatore di calore tra la rete di teleraffrescamento e il circuito di utenza.

Questo significa che, per evitare di assoggettare il circuito di acqua gelida di utenza a pressioni eccessive, che potrebbero portare a danneggiamenti della componentistica installata (ventilconvettori, etc.), la rete di teleraffreddamento deve operare con basse pressioni e di conseguenza per limitare le perdite di carico avere una estensione molto limitata (dell'ordine max di 1 km circa).

Limitando dunque l'esame progettuale al caso a), occorre effettuare alcune considerazioni.

Anzitutto, si constata che a Mazara del Vallo le condizioni climatiche sono oltremodo miti, con

solo 927 gradi giorno e una temperatura esterna di progetto che nella stagione invernale si attesta a 5 °C con un periodo di riscaldamento limitato a 137 giorni/anno soltanto (15 Novembre – 31 Marzo). Ciò significa che l'esigenza di riscaldamento ambienti è complessivamente marginale.

Quindi, nella realtà, a Mazara del Vallo sarà maggiormente presente l'esigenza di condizionamento ambientale nella stagione estiva. Per poter fornire la copertura del fabbisogno a tale servizio a partire dalla installazione della sola rete urbana di teleriscaldamento, occorrerà che le utenze alimentate siano dotate di un sistema di condizionamento di fabbricato con rete interna di distribuzione di acqua gelida e che presso l'utenza (o eventualmente presso gruppi di utenze adiacenti) sia installata una macchina frigorifera ad assorbimento alimentata con l'acqua calda della rete di teleriscaldamento.

Nella stagione estiva, quindi la rete di teleriscaldamento alimenterà i gruppi ad assorbimento decentrati con temperatura di mandata di 90 °C e con temperatura di ritorno di 78 °C. In cascata, l'acqua della rete di ritorno potrà poi coprire i fabbisogni di acqua calda sanitaria, con una riduzione della temperatura di ritorno generale della rete a circa 75 °C. Nella centrale di produzione, è comunque indispensabile abbinare allo scambiatore di calore diretto tra fluido geotermico e rete di teleriscaldamento una pompa di calore atta ad incrementare e ottimizzare il recupero di calore dal fluido geotermico, in modo da ridurre significativamente a parità di potenza termica del sistema di teleriscaldamento la portata necessaria di fluido geotermico (e quindi ridurre il numero dei pozzi). ■

2. Descrizione progettuale

2.1 Condizioni ambientali di riferimento

Le caratteristiche climatiche di Mazara del Vallo, ricavate dai dati forniti dalla legge n. 373/76 e dal DPR 26 agosto 1993 n. 412, sono le seguenti:

- Quota s.l.m.: 8 m
- Gradi giorno: 927
- Zona climatica: C
- Temperatura aria esterna: +5 °C
- Periodo di riscaldamento annuo: 137 giorni

Si osserva che la temperatura media invernale di Mazara del Vallo varia tra +8 °C e +12 °C, con valori minimi anche di +5 °C e massimi anche di +16 °C. In considerazione di ciò andremo a dimensionare l'impianto di riscaldamento tenendo conto della temperatura media all'interno dell'intervallo +8 °C – +12 °C, e cioè imposteremo come temperatura esterna di progetto +10 °C.

2.2 Fabbisogno termico e frigorifero dell'utenza

Sulla base della potenza termica resa disponibile

dalla centrale geotermica che verrà descritta nel seguito, nel presente studio è stato analizzato il caso di un bacino di utenza dal fabbisogno termico di 9,7 MW da servire con la rete di teleriscaldamento. La scelta di realizzare questo impianto con la suddetta potenza nasce da considerazioni tecniche ed economiche. Infatti si è proposta una soluzione che da una parte ottimizzasse il recupero di calore del fluido geotermico (potenza termica sottratta di 7,7 MWt) e dall'altra che avesse una redditività economica. Infatti da simulazione tecniche/economiche condotte, che non sono presentate in questo studio, è risultato come impianti di potenza termica inferiore non avessero un ritorno economico compatibile con la vita media degli impianti, stimata in 25 anni.

Per i calcoli, si è assunta una potenza termica specifica pari a 10 W/mc. Conseguentemente la volumetria da allacciare al sistema di teleriscaldamento risulta pari a circa 936.000 mc. Tale volumetria rappresenta la massima volumetria alimentabile dalla centrale di produzione. Il

potenziale bacino di utenze termiche, che potrebbe usufruire del sistema di teleriscaldamento, è stato individuato grazie all'aiuto dell'Ufficio Tecnico del Comune di Mazara del Vallo. In particolare gli edifici individuati e collocati all'interno dell'area tratteggiata dell'*Allegato 8* sono riportati in *Tabella 1* assieme alla loro stima volumetrica. Inoltre i tecnici del Comune evidenziano che, sempre all'interno dell'area tratteggiata, a breve si potranno aggiungere altri edifici del Comune, in fase di ristrutturazione, provenienti dalla confisca dei beni alla Mafia. Oltre a questi immobili comunali potrebbero usufruire del sistema di teleriscaldamento anche altri edifici Pubblici, quali la caserma dei Vigili del Fuoco, la Capitaneria di Porto e la guardia di Finanza, presenti anch'essi all'interno dell'area tratteggiata.

La stima del fabbisogno termico specifico annuo netto per riscaldamento ambientale è ricavato con il metodo, qui di seguito riportato, a partire dalla potenza termica specifica. Infatti, come noto, per la definizione stessa di gradi giorno, se un edificio fosse riscaldato continuativamente per tutte le 24 ore giornaliere e mantenuto alla temperatura interna di 20 °C, per tutto il periodo di riscaldamento annuo, il legame fra tale fabbisogno specifico annuo di energia termica e la potenza termica specifica massima sarebbe dato da:

$$FA = P \times GG \times 24/DT$$

dove:

- FA = fabbisogno specifico annuo teorico di energia termica per riscaldamento ambientale, al netto del rendimento di combustione (kWh/mc anno)
- P = potenza termica specifica massima per riscaldamento ambientale, a regime (W/mc)
- GG = gradigiorno annui per la località in esame
- 24 = fattore di conversione (ore/giorno)
- DT = salto termico massimo fra interno ed esterno pari a 10 °C, calcolato come differenza

tra la temperatura interna, pari a 20 °C, e la temperatura esterna di progetto, pari a +10 °C.

Inoltre, occorre tenere conto della presenza di carichi termici interni che consentono un risparmio sul consumo di combustibile (le cosiddette fonti gratuite).

Tenendo conto di ciò, il fabbisogno corretto deve essere calcolato in base alla seguente formula:

$$FAC = K \times P \times GGR \times 24/DT$$

dove:

- FAC = fabbisogno specifico annuo corretto di energia termica per riscaldamento ambientale, al netto del rendimento di combustione (kWh/mc anno)
- K = coefficiente riduttivo, che tiene conto del risparmio ottenibile dalla riduzione del periodo di funzionamento, della temperatura esterna di progetto utilizzata e grazie anche all'utilizzo delle fonti gratuite. Tale coefficiente viene assunto pari a 0,6
- P = potenza termica specifica massima per riscaldamento ambientale, a regime (W/mc)
- GGR = gradigiorno annui corretti per la località, dati dal valore riportato nel DPR n. 412/93, ridotto di 1 °C per il numero di giorni di riscaldamento annuo per tenere conto dei guadagni gratuiti; si ottengono quindi 790 gradigiorno/anno
- 24 = fattore di conversione (ore/giorno)
- DT = salto termico massimo fra interno ed esterno pari a 10 °C.

Applicando la formula, dalla potenza termica specifica massima si ricava il fabbisogno corretto FAC di 11 kWh/mc anno che, sommato al fabbisogno termico specifico annuo per produzione di acqua calda sanitaria assunto pari a 3,0 kWh/mc anno, fornisce un fabbisogno termico specifico annuo totale di 14,0 kWh/mc anno.

Tabella 1.
Edifici Comunali
presenti all'interno
dell'area individuata
nell'Allegato 8

	Edificio Pubblico	Tipologia	Locazione	mc
1	Scuola Santa Gemma	materna + elementare	via Santa Gemma	17.000
2	Scuola Boscarino	media	viale Olanda	19.000
3	Scuola 2° C.D.	materna + elementare	viale Olanda	7.000
4	Scuola Bonsignore	materna + elementare	via Amari	13.200
5	Scuola Pirandello	media	via Salemi	16.000
6	Scuola 3° C.D.	elementare	via Livorno	5.000
7	Scuola 3° C.D.	asilo	via Livorno	11.000
8	Scuola 2° I.C.	materna + elementare	via S. Bonanno	9.000
9	Scuola 1° C.D.	elementare	via Poggioreale	14.000
10	Scuola 1° I.C.	materna + elementare	piazza Macello	2.000
11	Scuola 1° I.C. ex C.L.	materna + elementare	piazza Macello	2.000
12	Scuola Grassa	media	piazza 3 Giornate	30.000
13	Palazzo dei Carmelitani	uffici comunali	via Carmine	20.000
14	Teatro Garibaldi	teatro	via Carmine	3.000
15	Palazzo Cavalieri di Malta	uffici comunali	via Carmine	13.000
16	Collegio dei Gesuiti	museo	piazza Plebiscito	20.000
17	Sant'Egidio	museo	piazza Plebiscito	5.000
18	San Bartolomeo	museo	piazza San Bartolomeo	7.000
19	Sant'Agnese	uffici comunali	largo Badiella	18.000
20	Sant'Agostino	centro immigrati	piazza San Michele	12.000
21	C.M. F. Corridoni	biblioteca e sala mostre	via Delle Sette Chiese	15.000
22	Scuola Borsellino	media	piazza Santa Veneranda	15.000
23	Scuola D. Aiello	elementari	via Santa Caterina	15.000
24	Palazzo di Città	uffici comunali	piazza Della Repubblica	4.000
25	San Francesco	civic center	via V. Veneto	15.000
26	San Carlo	centro immigrati	via San Giovanni	6.000
27	Casa Tunisia	centro culturale	via Bagno	1.000
28	ex Chiesa del Carmine	aula consiliare	via Carmine	5.500
29	ex Cinema Diana	centro multietnico	via Bagno	8.000
30	Cimitero	Uffici comunali	via della Pace	1.000
31	Palazzo della Legalità	uffici comunali	via Giotto	3.500
32	Politiche Comunitarie	uffici comunali	via E. Sansone	1.000
33	Scuola IV Circolo	Scuola elementare	via Belli	12.000
34	Scuola IV Circolo	Scuola elementare	via Bessarione	17.000
35	Scuola G. Grassa	Scuola media	via L. Vaccara	10.000
36	Polizia Municipale	Uffici comunali	via Bessarione	2.000
37	Caserma Carabinieri	Caserma	Via Generale Carlo Alberto dalla Chiesa	6.000
38	Liceo Scientifico	Liceo	Via A. Oriani	10.000
39	Azienda Sanitaria Provinciale	uffici amministrativi	via Castelvetrano	12.000
40	Liceo Classico	Liceo	via Santa Maria delle Giumentare	3.000
41	Ospedale Civile Abele Ajello	Ospedale	via Salemi	120.000

Pertanto il fabbisogno termico annuo risulta di: 13.260 MWh/anno.

Come già sopra descritto, per poter fornire la copertura del fabbisogno frigorifero a partire dalla installazione della sola rete urbana di teleriscaldamento, occorrerà che le utenze alimentate siano dotate di un sistema di condizionamento di fabbricato con rete interna di distribuzione di acqua gelida e che presso l'utenza (o eventualmente presso gruppi di utenze adiacenti) sia installata una macchina frigorifera ad assorbimento alimentata con l'acqua calda della rete di teleriscaldamento.

Pertanto, sulla base delle potenze termiche estive rese disponibili dalla centrale geotermica, al netto dei fabbisogni termici per acqua calda sanitaria, e considerando il coefficiente di efficienza frigorifera dei gruppi frigoriferi ad assorbimento pari a 0,7, si determinano i seguenti fabbisogni frigoriferi per il condizionamento ambientale estivo:

- Potenza frigorifera massima: 5.025 kW
- Energia frigorifera totale annua: 12.835 MWh/anno
- Energia termica per alimentazione frigo ad assorbimento: 18.340 MWh/anno

2.3 Dati progettuali

Sulla base delle caratteristiche delle utenze termofrigorifere sopra descritte, il sistema di teleriscaldamento preso in esame sarà basato sui seguenti dati di progetto:

- Volumetria totale allacciabile: 970.000 mc
- Potenza termica
 - potenza termica massima specifica: 10 W/mc
 - potenza termica massima del sistema ($936.000 \text{ mc} \times 10 \text{ W/mc}$): 9.360 kW
 - perdite di calore in rete: 340 kW
 - potenza termica totale: 9.700 kW
- Energia termica
 - fabbisogno termico massimo specifico dell'utenza allacciata: 14,0 kWh/mc anno
 - energia termica totale venduta per produzione

acqua calda: 13.260 MWh/anno

- energia termica totale venduta per produzione acqua gelida: 18.340 MWh/anno
- perdite di calore in rete: 2.500 MWh/anno
- energia termica totale immessa in rete: 34.100 MWh/anno

ed i limiti di fornitura dell' impianto proposto sono i seguenti:

- acqua geotermica: completamente incluso nell'impianto proposto
- energia elettrica: in corrispondenza del punto di consegna Enel nella cabina di M.T. della nuova centrale di teleriscaldamento
- acqua calda dei circuiti di utenza: in corrispondenza delle flange degli scambiatori di calore (lato secondario dello scambiatore) presso le sottocentrali di utenza
- acqua gelida dei circuiti di utenza: in corrispondenza delle flange dei frigoriferi ad assorbimento (lato secondario dell'assorbitore) presso le sottocentrali di utenza
- scarichi della fognatura della centrale di produzione: in corrispondenza della fognatura comunale.

2.4 Schema di impianto

L'impianto, oggetto del presente progetto, è basato sull'impiego delle seguenti unità di produzione:

- n. 1 scambiatore di calore a piastre per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 3.200 kWt per la produzione di acqua calda a 90 °C
- n. 1 pompa di calore di potenzialità pari a 6.500 kWt per la produzione di acqua calda a 90 °C.

Si evidenzia che la scelta di inserire in serie allo scambiatore diretto, una pompa di calore di potenzialità aggiuntiva di 6.500 kW, nasce dall'esigenza, come evidenziato precedentemente, di ottimizzare l'utilizzo proprio della risorsa geotermica presente. Infatti tramite questa soluzione si riesce a sottrarre

alla risorsa geotermica endogena una potenza termica aggiuntiva di 4.500 kW, portando così il contributo totale di potenza termica estratta dal sottosuolo di 7.700 kW a fronte di una potenza termica complessiva a servizio della rete di tele-riscaldamento di 9.700 kW.

2.4.1 Caratteristiche tecniche della pompa di calore

La pompa di calore sarà in grado di recuperare l'energia termica contenuta nell'acqua geotermica in uscita dallo scambiatore diretto per produrre acqua calda alla temperatura di 90 °C; con questa finalità è necessario ricorrere all'impiego di unità a pompa di calore con compressore centrifugo di tipo "Tailor made", cioè fabbricata "ad hoc" per la specifica applicazione. Per ottenere tali prestazioni e in particolare poter produrre acqua calda a 90 °C, la pompa di calore utilizzerà R245fa come fluido refrigerante.

Il fluido geotermico in uscita dal primo scambiatore alimenta l'evaporatore della pompa di calore tramite un circuito intermedio mediante uno scambiatore di calore da 4.500 kW; ciò consente di incrementare l'utilizzo della risorsa geotermica.

L'interposizione di un circuito chiuso tra il circuito ad acqua geotermica in uscita dal primo scambiatore e la pompa di calore consente di evitare di mettere in contatto l'evaporatore con un fluido ad alta salinità. Dal punto di vista costruttivo, ciò ha un impatto anche di tipo progettuale, in particolare sulla scelta dei materiali per l'evaporatore della pompa di calore, per il quale non occorre prevedere materiali speciali caratterizzati da una particolare resistenza. Ciò si traduce in un differente design della pompa di calore per effetto di questa particolare specificità e anche in una riduzione del costo dell'unità stessa. Ricorrendo all'interposizione di un circuito intermedio, l'acqua geotermica cede a tale circuito l'energia termica richiesta mediante uno scambiatore a

piastre. Tale fatto comporta una riduzione di circa 2 °C della temperatura di evaporazione del ciclo a pompa di calore, il che si traduce teoricamente in una riduzione comunque del tutto trascurabile del COP (dell'ordine dell'1,5%). Peraltro, il fatto di alimentare l'evaporatore con un circuito chiuso ad acqua, che può essere trattata ad esempio con un addolcitore in modo da garantire al fluido caratteristiche tali da evitare incrostazioni nelle tubazioni dell'evaporatore, permette di migliorare lo scambio termico nell'evaporatore stesso e quindi di recuperare in buona parte, se non addirittura integralmente, la seppur minima riduzione del COP.

La pompa di calore, sarà di produzione Frioetherm (Winterthur, Svizzera) o similare. I dati principali della pompa di calore sono riportati in *Tabella 2*.

2.5 Bilancio di massa ed energia

Il bilancio di massa ed energia per la soluzione impiantistica proposta è riportato nell'*Allegato 9*, in cui vengono mostrate le modalità di funzionamento invernale ed estivo dell'impianto.

Nel funzionamento invernale, il primo scambiatore di calore ad uso diretto alimenta il sistema di teleriscaldamento e rende disponibile una potenza termica massima di 3.200 kW, ottenuta sottraendo calore alla risorsa geotermica e abbassandone la temperatura da 92 °C fino a 67 °C; contestualmente l'acqua di ritorno della rete di teleriscaldamento a 65 °C viene riscaldata alla temperatura di 90 °C, temperatura idonea ad alimentare direttamente la rete di teleriscaldamento senza necessitare di alcuna integrazione.

In seguito il fluido geotermico in uscita dal primo scambiatore a piastre alimenta l'evaporatore della pompa di calore tramite un circuito intermedio alimentato tramite un secondo scambiatore di calore a piastre di potenzialità pari a 4.500 kW; ciò consente di incrementare l'utilizzo della risorsa geotermica abbassandone la

Tabella 2.
Caratteristiche tecniche pompa di calore Frioetherm (Winterthur, Svizzera) utilizzata per la rete di teleriscaldamento progettata

Stagione		Inverno	Estate
Numero unità		1	1
Sorgente fredda	Acqua geotermica		
Potenza termica sottratta alla sorgente fredda	kW	4.500	4.500
Temperatura ingresso sorgente fredda	°C	67	77
Temperatura uscita sorgente fredda	°C	32	42
Portata sorgente fredda	t/ora	110	110
Circuito intermedio lato evaporatore			
Potenza termica sottratta alla sorgente fredda	kW	4.500	4.500
Temperatura ingresso evaporatore	°C	40	40
Temperatura uscita evaporatore	°C	30	30
Portata sorgente fredda	t/ora	387	387
Sorgente calda	Acqua addolcita		
Potenza termica fornita alla sorgente calda	kW	6.500	6.500
Temperatura ingresso sorgente calda	°C	65	75
Temperatura uscita sorgente calda	°C	90	90
Portata sorgente calda	t/ora	224	373
Potenza elettrica assorbita	kW	2.000	2.000
COP		3,25	3,25

temperatura fino a 32 °C.

Il funzionamento estivo è sostanzialmente analogo a quello invernale, con la sola differenza che la temperatura di ritorno della rete di teleriscaldamento è maggiore e pari a 75 °C: pertanto, il recupero termico conseguibile con il solo scambiatore diretto è minore, pari a circa 1.900 kW. A valle del recupero diretto il fluido geotermico alimenta, tramite il secondo scambiatore di calore, il circuito intermedio sull'evaporatore della pompa di calore ed è poi inviato al pozzo di re-iniezione ad una temperatura di 42 °C.

2.6 Schema di flusso concettuale dell'impianto

Il Layout di massima della centrale di teleriscaldamento è mostrato in *Allegato 10*. Inoltre in *Allegato 11* è riportato lo schema di flusso concettuale dell'impianto proposto e negli *Allegati 12, 13 e 14* vi sono riportati gli schemi di progetto

tipici di sottocentrali di utenza rispettivamente dedicate alla sola produzione di acqua calda per riscaldamento ambienti, alla produzione di acqua calda per riscaldamento ambienti e acqua calda sanitaria ed infine alla produzione di acqua calda per riscaldamento ambienti e acqua gelida tramite gruppo frigorifero ad assorbimento.

Le sottocentrali di utenza saranno con collegamento alla rete di tipo indiretto mediante scambiatore di calore per la produzione di acqua calda, mentre per la produzione di acqua gelida verranno alimentati direttamente, senza interpolazione di alcuno scambiatore di calore, i gruppi frigo ad assorbimento di tipo monostadio installati presso le utenze.

2.6.1 Rete di teleriscaldamento

La rete di teleriscaldamento sarà a circuito chiuso, con una tubazione di mandata ed una tubazione di ritorno.

Il tracciato indicativo della dorsale principale della rete è presentato nell'*Allegato 8*. Alla punta di carico, nella stagione invernale, la rete di teleriscaldamento alimenterà gli scambiatori di calore con temperatura di mandata di 90 °C e con temperatura di ritorno di 65 °C. Nella stagione estiva, la rete di teleriscaldamento alimenterà i gruppi ad assorbimento decentrati con temperatura di mandata di 90 °C e con temperatura di ritorno di 78 °C. In cascata, l'acqua in uscita dai frigoriferi ad assorbimento potrà coprire i fabbisogni di acqua calda sanitaria, con una

riduzione della temperatura di ritorno generale della rete a circa 75 °C. La portata massima circolante in rete nella stagione invernale sarà di 334 t/ora mentre nella stagione estiva sarà di 483 t/ora.

In *Allegato 8* vi sono anche indicate le utenze pubbliche che potrebbero essere allacciate alla rete di teleriscaldamento proposta. I numeri, presenti all'interno dell'area tratteggiata, fanno riferimento agli edifici indicati in *Tabella 1*. Si fa inoltre presente che a questi edifici si potranno aggiungere altri locali pubblici di volumetria complessiva di circa 400.000 mc. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

3. Simulazione del funzionamento dell'impianto

3.1 Fabbisogni Energetici dell'impianto

Per individuare le modalità di esercizio degli impianti più idonee e valutare i quantitativi energetici ottenibili su base annua (energie prodotte e consumate), è stata eseguita una simulazione del comportamento del sistema, riportata in **Appendice 1**.

Per la simulazione del comportamento del sistema sono state prese in considerazione due distinte curve di durata, una per la stagione invernale ed una per la stagione estiva, che tengono conto anche della distribuzione giornaliera dei carichi (periodo diurno e periodo notturno).

Le modalità di esercizio dell'impianto sono state sviluppate in modo da coprire i fabbisogni termici della rete di teleriscaldamento sia per la

produzione di acqua calda sia per la produzione di acqua gelida con gruppi frigo ad assorbimento, innanzitutto con lo scambiatore di calore diretto e quindi con la pompa di calore. La simulazione permette anche di valutare i fabbisogni di energia elettrica della centrale di teleriscaldamento.

I risultati principali del procedimento di simulazione del comportamento dell'impianto sono riportati nella *Tabella 3*.

3.2 Risparmio energetico

Per comprendere quale sia il risparmio energetico della soluzione impiantistica proposta, si è effettuato un confronto fra le caratteristiche della soluzione prevista e quelle di una soluzione di

Tabella 3.
Risultati principali
della simulazione
del comportamento
del sistema di
teleriscaldamento

FLUSSI ENERGETICI	ESTATE	INVERNO	TOTALE
	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno
FABBISOGNI FRIGORIFERI			
Fabbisogno frigorifero			
- fabbisogni di utenza	12.835	-	12.835
FABBISOGNI TERMICI			
Fabbisogno termico circuito acqua calda			
- fabbisogni utenza	2.259	11.001	13.260
- fabbisogni per alimentazione gruppi frigo ad assorbimento monostadio	18.336	-	18.336
- perdite calore da rete	1.501	987	2.487
- TOTALE	22.096	11.988	34.084
Copertura dei fabbisogni utenza mediante:			
- scambiatore di calore diretto	10.457	8.489	18.946
- pompa di calore	11.640	3.499	15.138
- TOTALE	22.096	11.988	34.084
Percentuali di copertura:			
- scambiatore di calore diretto	47,3%	70,8%	55,6%
- pompa di calore	52,7%	29,2%	44,4%
- TOTALE	100,0%	100,0%	100,0%
FABBISOGNI ELETTRICI			
Fabbisogni elettrici			
• consumo elettrico pompa di calore:			
- ore di punta	2.917	778	3.695
- ore non di punta	664	298	962
- Totale	3.581	1.076	4.658
• consumo elettrico ausiliari e altri macchinari di centrale			
- ore di punta	343	155	498
- ore non di punta	236	137	373
- Totale	580	292	872
• Totale fabbisogni elettrici (utenza + autoconsumi di centrale)			
- ore di punta	3.260	933	4.194
- ore non di punta	901	435	1.336
- TOTALE	4.161	1.369	5.530
Copertura dei fabbisogni mediante:			
• importato dalla rete			
- ore di punta	3.260	933	4.194
- ore non di punta	901	435	1.336
• TOTALE	4.161	1.369	5.530

tipo convenzionale, basata cioè su caldaie alimentate a combustibile fossile e su gruppi frigoriferi a compressione ad alimentazione elettrica dalla rete nazionale.

La configurazione impiantistica convenzionale

comporta i seguenti consumi di energia primaria:

- consumo delle caldaie ad acqua calda, con rendimento ipotizzato pari al 90%;
- consumo delle centrali termoelettriche di tipo convenzionale per la produzione dell'energia

RISPARMIO ENERGETICO ANNUO					
GRANDEZZE	MWh/anno prodotti	Rendimento	MWh/anno consumati	TEP/anno	
CONSUMI SISTEMA CONVENZIONALE					
Energia elettrica sostituita ed equivalente al consumo di energia elettrica di gruppi frigo a compressione condensati ad aria necessari per la copertura degli interi fabbisogni frigoriferi	4.754	46,0%	10.334	889	
Energia termica sostituita ed equivalente consumo di calore nelle caldaie d'utenza:	13.260	90,0%	14.734	1.267	
A = Consumo calore nella situazione di riferimento			25.068	2.156	
CONSUMI DEL NUOVO IMPIANTO					
Energia elettrica importata dalla rete	5.530	46,0%	12.021	1.034	
B = Consumo di calore totale del nuovo impianto			12.021	1.034	
C = A - B = Risparmio energetico annuo			13.047	1.122	
Risparmio energetico / Consumo precedente (C / A)	%		52%	52%	

Tabella 4.
Valutazione del risparmio energetico ottenuto rispetto ad una centrale convenzionale di pari potenza

elettrica richiesta da gruppi frigoriferi condensati ad aria necessari per la copertura del fabbisogno frigorifero. Tale consumo elettrico viene calcolato in base ad un rendimento medio complessivo del 46%, che include non solo il rendimento di centrale, ma anche le perdite di trasporto e quelle di trasformazione.

Nella centrale geotermica oggetto di studio, la produzione dell’energia necessaria per il sistema di teleriscaldamento comporta il seguente consumo di energia primaria:

- consumo delle centrali termoelettriche di tipo convenzionale per la produzione dell’energia elettrica richiesta dalla centrale geotermica per l’alimentazione della pompa di calore e degli ausiliari di centrale. Questo consumo viene calcolato in base ad un rendimento medio complessivo del 46%, che include non solo il rendimento di centrale, ma anche le perdite di trasporto e quelle di trasformazione.

In Tabella 4 sono sintetizzati i risultati ottenuti dalla

comparazione del consumo energetico tra la soluzione convenzionale e la soluzione dell’impianto di teleriscaldamento proposto. In particolare si evidenzia che il risparmio energetico ottenuto è di circa il 52% rispetto alla soluzione convenzionale.

3.3 Analisi Ambientale

La centrale geotermica proposta per la produzione di acqua calda al servizio del sistema di teleriscaldamento non considera le emissioni in atmosfera. Qualora si volessero tenere in conto anche le emissioni in atmosfera delle centrali elettriche che forniscono, tramite la rete elettrica nazionale, l’energia elettrica alla pompa di calore e agli ausiliari di centrale, si dovrebbero valutare le fonti di origine dell’energia elettrica. Tuttavia, se si suppone che l’energia elettrica sia fornita da un impianto qualificato IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili) presente sul territorio per la copertura dei fabbisogni della centrale (per i dettagli vedi paragrafo sulla realizzazione di impianto full green), la soluzione proposta non avrebbe alcun impatto ambientale. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

4. Analisi di fattibilità economica

L'analisi di fattibilità economica eseguita segue una prassi largamente applicata, utilizzando il metodo dell'attualizzazione del flusso di cassa generato dal progetto (**DCF**, *Discounted Cash Flow*). La valutazione DCF porta alla determinazione di indici di valutazione sintetici, calcolati sulla base del flusso di cassa attualizzato. Il tasso di attualizzazione è stato assunto pari al 5%.

Tra tali indici, quelli di significato più generale e più largamente utilizzati sono:

- il valore attualizzato netto (**VAN**);
- il tasso interno di rendimento (**TIR**);
- il periodo di recupero attualizzato dell'investimento (**PRA**).

Tali indici sintetizzano il giudizio sulla redditività dell'iniziativa, esaminata da prospettive diverse, e insieme consentono di esprimere un giudizio articolato di merito.

Il significato rispettivo dei tre indici è il seguente:

- il **VAN** consiste nel valore attualizzato dell'eccedenza di liquidità generata dal progetto, calcolata con riferimento ad un tasso minimo di redditività prefissato (che, effettuando l'analisi a moneta costante, viene per questo caso assunto pari al 5%);
- il **TIR** è il tasso per il quale il valore attualizzato delle entrate egualgia il valore attualizzato delle uscite e indica il tasso di redditività dell'investimento cioè il tasso di interesse che annulla il **VAN**;
- il **PRA** rappresenta il tempo necessario perché la somma dei flussi di cassa positivi, attualizzati, uguagli la somma dei flussi di cassa negativi, pure attualizzati, per cui consiste in pratica nel numero di anni necessari al recupero dell'investimento, calcolato attualizzando i flussi di cassa in base al tasso di redditività sopra citato.

L'analisi economica viene sviluppata riferendo tutti i prezzi, sia per i costi d'investimento che per i flussi di esercizio, all'anno 2012.

Le analisi sono eseguite a moneta costante, in assenza di inflazione, considerando una durata dell'investimento di 25 anni, dei quali 2 di progettazione e costruzione e 23 di esercizio (che, quindi, inizia al terzo anno).

4.1 Costo d'investimento

La stima del costo d'investimento per il circuito geotermico, la centrale di produzione, le reti di teleriscaldamento e le sottocentrali d'utenze è pari a 12.686.000 Euro.

La valutazione analitica budgetaria del preventivo del costo di investimento è riportata in **Appendice 2**.

4.2 Costi e ricavi d'esercizio

4.2.1 Ricavi di esercizio

I ricavi dovuti alla realizzazione dell'impianto consistono sostanzialmente in:

- Ricavi per cessione di energia termica all'utenza per riscaldamento ambiente e produzione a.c.s
- Ricavi per cessione di energia termica all'utenza per alimentazione gruppi frigo ad assorbimento
- Certificati bianchi

Ricavi per cessione di energia termica all'utenza per riscaldamento ambiente e produzione a.c.s

I ricavi per cessione di energia termica per riscaldamento ambiente e produzione a.c.s sono valorizzati a 0,090 €/kWh.

La tariffa applicata tiene conto del fatto che l'utenza non dovrà più affrontare spese di manutenzione per le unità di produzione termica (caldaie) condominiale ed inoltre risparmierà per il mancato consumo di energia elettrica per i bruciatori.

Ricavi per cessione di energia termica all'utenza per alimentazione gruppi frigo ad assorbimento

I ricavi per cessione di energia termica per l'alimentazione dei gruppi frigo ad assorbimento sono valorizzati considerando la mancata produzione frigorifera presso l'utenza stessa ipotizzata ottenuta mediante l'utilizzo di gruppi frigoriferi a compressione condensati ad aria, caratterizzati da un COP = 2,7. Il costo dell'energia elettrica di consumo è stato supposto pari a 0,17 €/kWh. Considerando il COP dei gruppi frigo ad assorbimento pari a 0,7, ne risulta quindi la seguente tariffa:

$$(0,17 / 2,7) \times 0,7 = 0,0441 \text{ €/kWh}$$

di energia termica

La tariffa applicata è pari a quella sopra indicata maggiorata del 15% per tener conto del fatto che l'utenza non dovrà più affrontare spese di manutenzione per le unità di produzione frigorifera condominiale. Pertanto la tariffa applicata è pari a 0,0507 €/kWh.

Certificati Bianchi

Il valore dei Certificati bianchi è stimato in ragione di 86,9 €/TEP (pari a 8,6 €/MWh) di risparmio energetico. Il relativo ricavo è previsto per 5 anni di esercizio.

4.2.2 Costi di esercizio

I costi di esercizio dell'impianto sono costituiti da:

- costo per acquisto di energia elettrica dalla rete
- costo di manutenzione dell'impianto
- personale di conduzione e gestione.

Costo per acquisto di energia elettrica dalla rete

Sono state considerate due diverse fasce di prezzo per l'acquisto di energia elettrica della rete:

- Fascia oraria di punta: 0,170 €/kWh elettrici
- Fascia oraria non di punta: 0,090 €/kWh elettrici

Tabella 5.
Flussi di cassa
generato
dall'impianto di
teriscaldamento
proposto

A) RICAVI		Tariffa Euro/kWh	Quantitativo kWh/anno	Ricavo Euro/anno
	1 Vendita energia termica per riscaldamento invernale e produzione acs	0,0900	13.260.305	1.193.427
	2 Vendita energia termica per alimentazione frigo ad assorbimento	0,0507	18.336.302	929.379
	3 Certificati bianchi	Tariffa Euro/TEP	Quantitativo TEP/anno	
TOTALE RICAVI		86,9	1.122	97.502
TOTALE RICAVI				2.220.308
B) COSTI		Tariffa Euro/kWh	Quantitativo kWh/anno	Costo Euro/anno
	1 Acquisto energia elettrica dalla rete			
	- Fascia oraria di punta	0,1700	4.193.878	712.959
	- Fascia oraria non di punta	0,0900	1.335.645	120.208
	2 Manutenzione (apparecchiature di centrale e rete di TLR)			150.000
	3 Personale di gestione			150.000
TOTALE COSTI				1.133.167
C) MARGINE OPERATIVO LORDO				1.087.141

Costo di manutenzione dell'impianto

Si ritiene che il nuovo sistema proposto comporti costi di manutenzione pari a 150.000 €/anno.

Personale di conduzione e gestione

La conduzione e la gestione dell'impianto prevede l'impegno di n. 3 persone con un costo annuo di 150.000 €.

Nella Tabella 5 si riportano le valutazioni economiche complessive dei ricavi e dei costi di esercizio.

4.3 Risultati dell'analisi di fattibilità economica

Le elaborazioni relative all'analisi economica sono state eseguite mediante un programma computerrizzato, che prevede il calcolo dei tre indici **VAN**, **TIR** e **PRA**.

Gli output di calcolatore con i risultati di dettaglio dell'analisi di fattibilità economica sono riportati nell'**Appendice 3**. I risultati ottenuti che consentono di valutare la redditività dell'impianto

sono i seguenti:

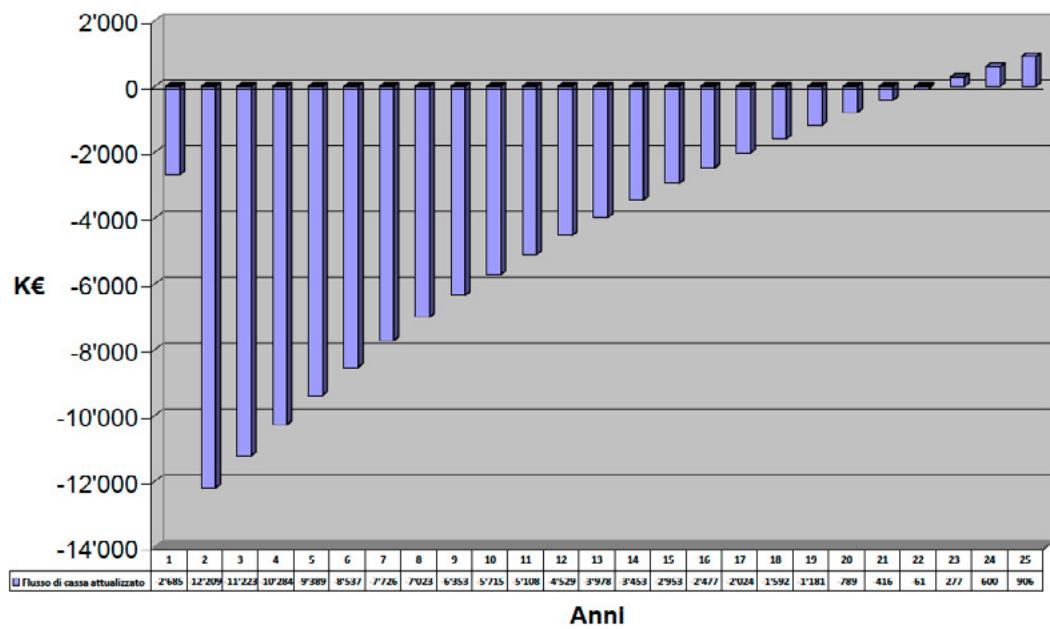
INDICE	U.M.	
TIR	%	5,80
VAN	€	906.378
PRA (al netto degli anni di costruzione)	anni	19,85

In Figura 17 è visualizzato il flusso di cassa cumulato attualizzato della proposta progettuale. Si evidenzia che l'investimento dell'impianto si recupera in circa 20 anni al netto dei due anni di costruzione ipotizzati. Pertanto l'impianto genera una liquidità di circa un milione di euro dopo circa 23 anni dalla sua realizzazione e senza ottenere alcun contributo pubblico a fondo perduto.

4.4 Analisi di sensitività

Per valutare i benefici che eventuali **contributi pubblici a fondo perduto** potrebbero avere sulla redditività economica dell'iniziativa proposta, si sono effettuate altre simulazioni

Figura 17.
Flusso di cassa
cumulato generato
dall'impianto di
teleriscaldamento
proposto



di sensitività economiche al variare del costo di investimento nel *range* -40% / 0% rispetto al valore base dello studio. I risultati ottenuti sono riportati in dettaglio all'interno dell'**Appendice 3**. In particolare, qui di seguito, nella tabella sottostante è riportato il dato ottenuto considerando che ci sia un contributo pubblico a fondo perduto del 40% per la realizzazione dell'opera proposta.

INDICE	U.M.	
TIR	%	12,51
VAN	€	5.881.279
PRA (al netto degli anni di costruzione)	anni	9,32

4.5 Ipotesi di realizzazione di un impianto "full green"

Nel presente rapporto tecnico non è presa in considerazione la possibilità di realizzare un impianto di tipo "full green", ovvero alimentato interamente mediante fonti di energia rinnovabili, in quanto l'unità a pompa di calore è alimentata elettricamente dalla rete nazionale.

Tuttavia, unicamente in considerazione anche del valore dimostrativo dell'intervento proposto, appare interessante valutare la possibilità di

realizzare un impianto con funzionamento "full green".

Per ottenere tale risultato è necessario prevedere un sistema di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in grado di fornire, su base annua, la medesima quantità di energia consumata dalla pompa di calore e dagli ausiliari di centrale.

Esistono sostanzialmente le seguenti possibilità per ottenere tale quantitativo di energia elettrica da fonte rinnovabile:

- Installare un motore cogenerativo ad olio vegetale;
- Installare un impianto fotovoltaico;
- Installare un impianto eolico;
- Stringere contratti dedicati di fornitura elettrica con garanzia dell'origine dell'energia acquistata.

Esistono sul mercato motori cogenerativi alimentati mediante olio vegetale (di palma, di colza, ecc.), che risulta a tutti gli effetti una fonte rinnovabile.

La soluzione di installare un motore cogenerativo ad olio vegetale presenta i seguenti vantaggi:

- il motore opera a potenza costante per un elevato numero di ore annue;

- la produzione elettrica risulta incentivata tramite i certificati verdi.

Per contro la soluzione proposta presenta qualche complessità, principalmente legata all'utilizzo dell'olio vegetale come combustibile e al suo reperimento.

Non si ritiene invece praticabile la soluzione con installazione di un impianto fotovoltaico, in quanto la quantità di energia elettrica da produrre comporterebbe la realizzazione di un impianto eccessivamente grande, sia in termini di superficie occupata dall'impianto sia in termini di costo di investimento.

Per quanto riguarda la possibilità e la convenienza di installare un impianto eolico, in assenza di uno studio approfondito della direzione e dell'intensità del vento nella zona dove sorgerà l'impianto (l'atlante eolico italiano indica una

velocità del vento da 5 a 6 m/s per tale area a 25 m s.l.t.), non si possono effettuare valutazioni, ancorché preliminari.

L'unica considerazione è che un impianto ad energia eolica per tale soluzione dovrebbe essere costituito da un numero limitato di turbine eoliche di dimensioni considerevoli (alcune centinaia di kW ciascuna) e che pertanto, da un punto di vista di spazi necessari, anche tale soluzione appare poco praticabile.

Infine, la soluzione più semplice e sicuramente la più conveniente, è quella di stringere un contratto di fornitura elettrica con uno dei tanti fornitori presenti sul mercato in cui sia precisata la fonte di origine dell'energia elettrica acquistata. In tale modo è possibile sfruttare la produzione di un altro impianto qualificato IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili) presente sul territorio per la copertura dei fabbisogni della centrale. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

5. Soluzione alternativa: teleriscaldamento + usi diretti della geotermia

5.1 Considerazioni di impostazione generale

Dalla trattazione sin qui esposta si evince che la proposta di un impianto di teleriscaldamento geotermico, seppur integrato con un sistema di produzione di acqua gelida decentrato presso le utenze per il condizionamento ambientale, applicato alla realtà di Mazara del Vallo, non permette di valorizzare economicamente appieno la risorsa geotermica presente. Il motivo risiede dal fatto che il fabbisogno di calore, richiesto per il riscaldamento dell'utenze, non è sufficiente per permettere un ritorno economico efficace dell'investimento studiato. Infatti, in letteratura sono molti i casi in cui, nonostante ci sia una risorsa geotermica importante, il suo utilizzo purtroppo è

sotto-utilizzato perché sia le condizioni climatiche di riferimento della zona sono medio calde, vanificando quindi l'uso per il riscaldamento, sia perché non esistono attività produttive in zona capaci di utilizzare direttamente il calore del sottosuolo all'interno dei loro processi.

Tuttavia, nel caso di Mazara del Vallo, si sono individuate delle attività produttive che se utilizzassero il calore del sottosuolo all'interno dei loro processi di produzione, potrebbero ottenere dei benefici economici. Questo utilizzo virtuoso della risorsa, così come evidenziato dalla letteratura di riferimento scientifica, potrebbe comportare un rilancio del tessuto economico locale del territorio favorendo anche la nascita della filiera del

caldo/freddo, avviando quindi anche nuove attività industriali. In generale, gli effetti principali di questo utilizzo intelligente della risorsa geotermica potrebbe da una parte ridurre il costo diretto di produzione del calore e dall'altra parte contribuire a rendere il territorio energeticamente autosufficiente.

Per tale motivo, ipotizziamo di abbinare l'impianto di teleriscaldamento (con produzione di acqua gelida decentrata presso l'utenza) con diverse applicazioni di utilizzo diretto del calore geotermico per processi industriali. In particolare per:

- riscaldare una piscina
- alimentare un pastificio con processo di produzione della pasta a bassa temperatura
- alimentare un dissalatore per l'acqua di mare
- alimentare un sistema di essiccamiento di fanghi per un impianto di depurazione.

Tutti questi casi di processo per usi diretti della geotermia sono stati oggetto di separati studi dedicati nell'ambito del programma VIGOR per altri siti e quindi in questa sede si considereranno acquisite tutte le informazioni di base, che quindi qui non verranno ripetute, limitandosi la presente trattazione a semplici cenni di carattere impiantistico sullo schema proponibile e relativo bilancio termico.

Ciò che caratterizza le soluzioni per il riscaldamento di una piscina e per l'alimentazione termica di un pastificio è la possibilità, in presenza di una risorsa geotermica con adeguata portata di evitare l'installazione della pompa di calore, ricorrendo al solo scambio termico diretto con il fluido geotermico.

Per il dissalatore dell'acqua di mare e per l'essiccamiento di fanghi in un impianto di depurazione, la temperatura dell'acqua calda richiesta dai relativi processi è tale da rendere inevitabile l'utilizzo della pompa di calore. Inoltre per il dissalatore anche la rilevante potenzialità termica richiesta

dal processo rende inevitabile l'utilizzo di tale unità di produzione.

Nel seguito vengono esaminate in rapida rassegna le soluzioni impiantistiche per i quattro casi sopra citati.

5.2 Teleriscaldamento + riscaldamento dell'acqua di una piscina

La presente soluzione impiantistica consiste nell'abbinamento di un impianto di teleriscaldamento e di un sistema di riscaldamento al servizio di una piscina, alimentati direttamente dal calore della risorsa geotermica mediante l'impiego di due scambiatori di calore disposti in serie tra loro rispetto al fluido endogeno.

La soluzione prevede l'installazione delle seguenti unità di produzione:

- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 3.200 kWt al servizio di un sistema di teleriscaldamento
- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 600 kWt per il riscaldamento di una piscina.

La potenza termica massima complessiva sottratta dalla geotermia risulta pari a 3.800 kW.

Lo schema di flusso concettuale ed il bilancio termico della presente applicazione sono mostrati in *Figura 18*.

Il primo scambiatore di calore ad uso diretto alimenta un sistema di teleriscaldamento di potenza termica massima di 3.200 kW e sottrae calore alla risorsa geotermica abbassandone la temperatura da 92 °C fino a 67 °C; contestualmente la temperatura dell'acqua del teleriscaldamento di ritorno in centrale a 65 °C viene innalzata a 90 °C, idonea quindi ad alimentare direttamente la rete di teleriscaldamento senza necessitare di alcuna integrazione.

Il secondo scambiatore di calore disposto in

serie al precedente rispetto al circuito geotermico, alimenta un sistema di riscaldamento da 600 kW al servizio di una piscina e consente di incrementare l'utilizzo della risorsa abbassandone la temperatura fino a 62 °C; contestualmente la temperatura dell'acqua di ritorno dal sistema di riscaldamento della piscina a 40 °C viene innalzata alla temperatura di mandata di 50 °C.

La potenza termica recuperata mediante il secondo scambiatore di calore potrebbe anche essere incrementata ulteriormente, qualora, oltre ai fabbisogni termici a bassa temperatura della piscina, fossero presenti anche altre utenze di nuova realizzazione con circuiti di riscaldamento a bassa temperatura, come ad esempio nuovi edifici

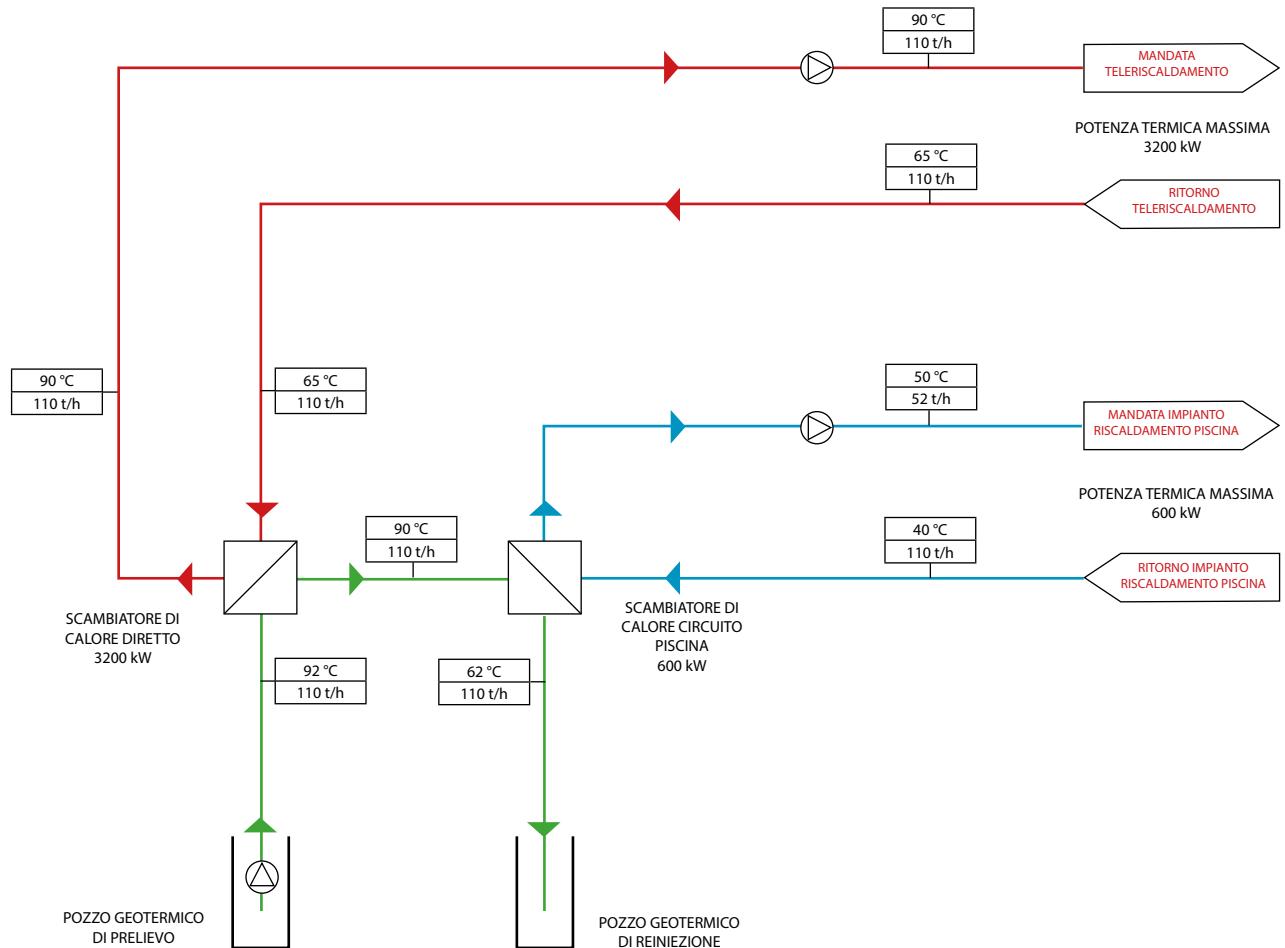
con impianti a pannelli radianti.

5.3 Teleriscaldamento + alimentazione di energia termica per un pastificio

La presente soluzione impiantistica consiste nell'abbinamento di un impianto di teleriscaldamento e di un sistema di alimentazione di energia termica per un pastificio con processo di produzione della pasta a bassa temperatura, alimentati direttamente dal calore della risorsa geotermica mediante l'impiego di due scambiatori di calore disposti in serie tra loro rispetto al fluido endogeno.

La soluzione prevede l'installazione delle seguenti unità di produzione:

Figura 18.
Schema di impianto teleriscaldamento abbinato ad un utilizzo in cascata di riscaldamento di una piscina



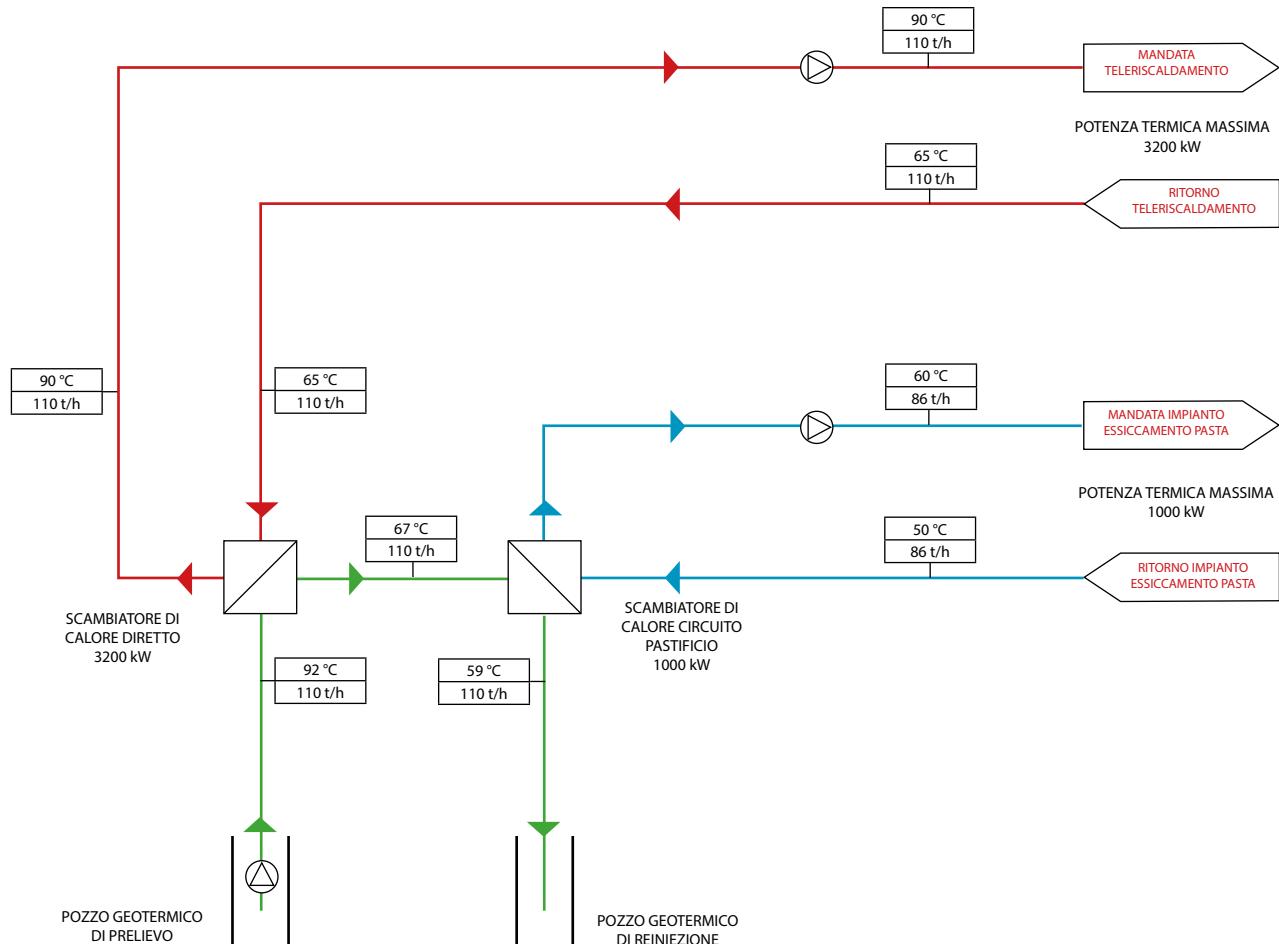
- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 3.200 kWt al servizio di un sistema di teleriscaldamento
- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 1.000 kWt per l'alimentazione di un pastificio con processo di produzione della pasta a bassa temperatura.

La potenza termica massima complessiva sottratta dalla geotermia risulta pari a 4.200 kW.

Figura 19.
Schema di impianto teleriscaldamento abbinato all'utilizzo in cascata del processo di essiccamiento della pasta

teleriscaldamento di potenza termica massima di 3.200 kW e sottrae calore alla risorsa geotermica abbassandone la temperatura da 92 °C fino a 67 °C; contestualmente l'acqua di ritorno della rete di teleriscaldamento a 65 °C viene innalzata alla temperatura di 90 °C, idonea ad alimentare direttamente la rete di teleriscaldamento senza necessitare di alcuna integrazione.

Il secondo scambiatore di calore disposto in serie al precedente rispetto al circuito geotermico, alimenta un impianto di essiccamento della pasta a bassa temperatura da 1.000 kW e consente di incrementare l'utilizzo della risorsa abbassandone la temperatura da 67 °C fino a 59 °C; contestualmente la temperatura dell'acqua di ritorno dal sistema di produzione della pasta a 50 °C viene



innalzata alla temperatura di mandata di 60 °C.

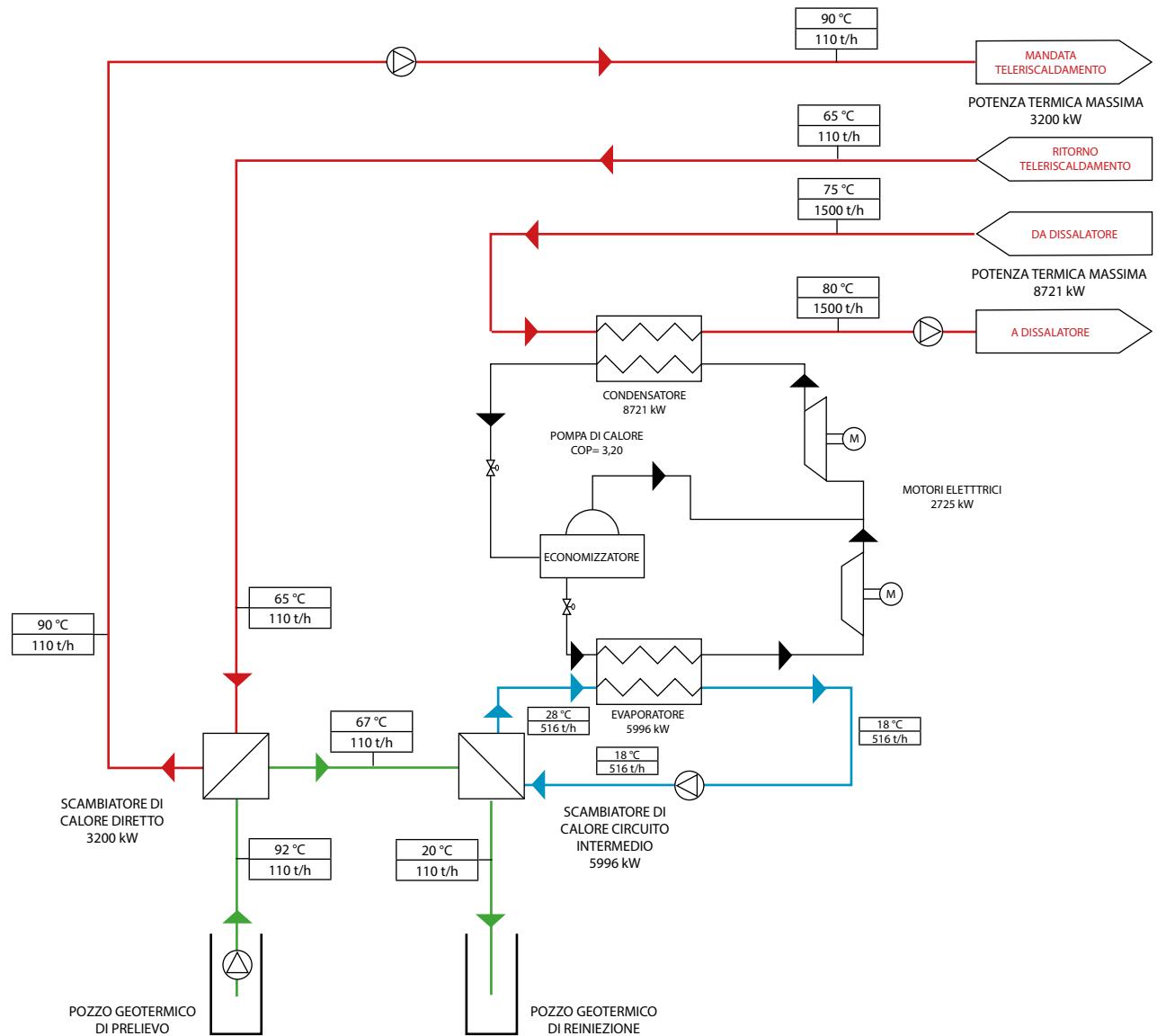
5.4 Teleriscaldamento + dissalatore di acqua di mare

La presente soluzione impiantistica consiste nell'abbinamento di un impianto di teleriscaldamento e di un impianto di dissalazione dell'acqua di mare, alimentati dal calore della risorsa geotermica mediante l'impiego delle seguenti unità

di produzione:

- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 3.200 kWt al servizio di un sistema di teleriscaldamento
- n. 1 pompa di calore di potenzialità pari a 8.720 kWt per la produzione di acqua calda a 80 °C per l'impianto di dissalazione e alimentata dall'acqua geotermica tramite un circuito intermedio.

Figura 20.
Schema di impianto teleriscaldamento abbinato all'utilizzo in cascata del processo di dissalazione acqua di mare



La potenza termica massima complessiva sottratta dalla geotermia risulta pari a 9.200 kW.

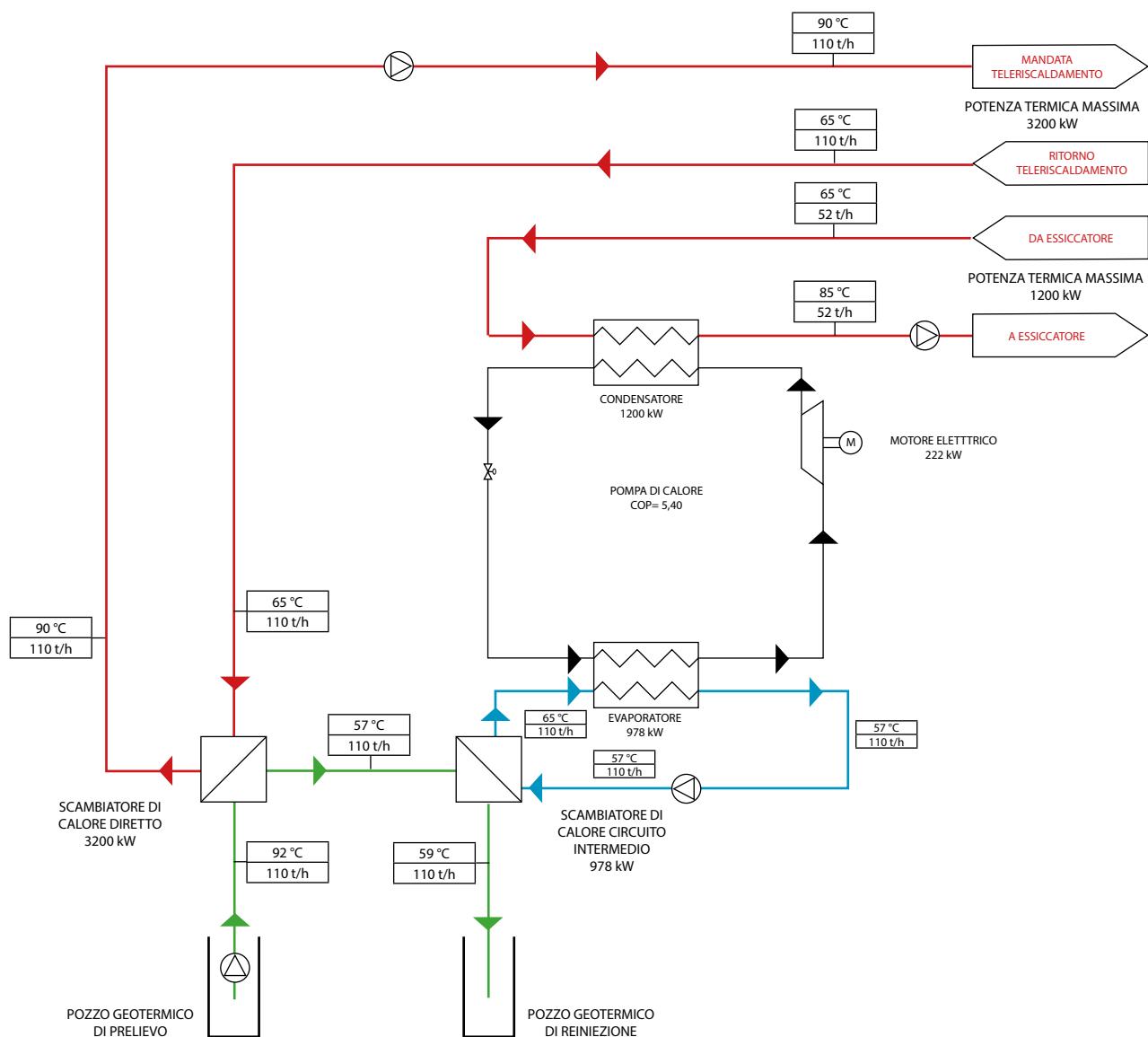
Lo schema di flusso concettuale ed il bilancio termico della presente applicazione sono mostrati nella figura 20.

Figura 21.
Schema di impianto teleriscaldamento abbinato all'utilizzo in cascata del processo di essicramento dei fanghi da depuratore

Il primo scambiatore di calore ad uso diretto alimenta un sistema di teleriscaldamento di potenza termica massima di 3.200 kW e sottrae calore alla risorsa geotermica abbassandone la temperatura da 92 °C fino a 67 °C; contestualmente l'acqua

di ritorno della rete di teleriscaldamento a 65 °C viene innalzata alla temperatura di 90 °C, idonea ad alimentare direttamente la rete di teleriscaldamento senza necessitare di alcuna integrazione.

Il fluido geotermico in uscita dal primo scambiatore alimenta l'evaporatore della pompa di calore tramite un circuito intermedio mediante uno scambiatore di calore da 6.000 kW; ciò consente di incrementare l'utilizzo della risorsa abbassandone la temperatura fino a 20 °C.



5.5 Teleriscaldamento + essiccamiento dei fanghi di un impianto di depurazione

La presente soluzione impiantistica consiste nell'abbinamento di un impianto di teleriscaldamento e di un impianto di essiccamiento fanghi di un depuratore, alimentati dal calore della risorsa geotermica mediante l'impiego delle seguenti unità di produzione:

- n. 1 scambiatore di calore per il recupero diretto dell'energia termica del fluido endogeno, di potenzialità pari a 3.200 kWt al servizio di un sistema di teleriscaldamento
- n. 1 pompa di calore di potenzialità pari a 1.200 kWt per la produzione di acqua calda a 85 °C per l'impianto di essiccamiento fanghi di un depuratore e alimentata dall'acqua geotermica tramite un circuito intermedio.

La potenza termica massima complessiva sottratta

dalla geotermia risulta pari a circa 4.200 kW.

Lo schema di flusso concettuale ed il bilancio termico della presente applicazione sono mostrati nella *Figura 21*.

Il primo scambiatore di calore ad uso diretto alimenta un sistema di teleriscaldamento di potenza termica massima di 3.200 kW e sottrae calore alla risorsa geotermica abbassandone la temperatura da 92 °C fino a 67 °C; contestualmente l'acqua di ritorno della rete di teleriscaldamento a 65 °C viene innalzata alla temperatura di 90 °C, idonea ad alimentare direttamente la rete di teleriscaldamento senza necessitare di alcuna integrazione.

Il fluido geotermico in uscita dal primo scambiatore alimenta l'evaporatore della pompa di calore tramite un circuito intermedio mediante uno scambiatore di calore da circa 1.000 kW; ciò consente di incrementare l'utilizzo della risorsa abbassandone la temperatura fino a 59 °C. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

6. Iter autorizzativo

6.1 Premessa

A livello normativo nazionale, la ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche effettuate nel territorio dello Stato, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale italiana sono definite dal **Dlgs 11 febbraio 2010, n. 22 e s.m.i.** Tuttavia la Sicilia, essendo Regione autonoma a statuto speciale ha la potestà legislativa esclusiva in materia di "miniere, cave, torbiere e saline". Di seguito ci limitiamo a dare informazioni sintetiche e di carattere generale di classificazione degli impianti previsti per l'utilizzo della risorsa geotermica secondo la normativa nazionale, per poi fornire utili indicazioni per la presentazione di istanza di permesso di ricerca e concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale secondo la specifica normativa vigente sul territorio siciliano.

Riferimenti di dettaglio utili alla preparazione dei documenti sono descritti nel documento *"VIGOR: Sviluppo geotermico nelle Regioni della Convergenza"*.

6.2 Classificazione e tipologie di impianti

Ai sensi del decreto legislativo sopra citato, vengono classificate **tre tipologie** di risorse geotermiche, a seconda della temperatura dei fluidi:

- Risorse geotermiche ad alta entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito superiore a 150 °C";
- Risorse geotermiche a media entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito compresa tra 90 °C e 150 °C";
- Risorse geotermiche a bassa entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito inferiore a 90 °C".

Ulteriore classificazione viene proposta ai sensi dell'art.1 del DLgs. 22/2010 e s.m.i., secondo il quale vengono definite:

- **Risorse d'interesse nazionale** le risorse geotermiche ad alta entalpia che possono "assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20 MW termici", nonché tutte quelle "rinvenute in aree marine";

- **Risorse d'interesse locale** le risorse geotermiche a media e bassa entalpia “di potenza inferiore a 20 MW termici”;
- **Piccole utilizzazioni locali** di calore geotermico quelle per le quali sono soddisfatte congiuntamente le seguenti condizioni:
 - consentono la realizzazione di impianti di potenza inferiore a 2 MW termici, ottenibili dal fluido geotermico alla temperatura convenzionale dei reflui di 15 gradi centigradi;
 - ottenute mediante l'esecuzione di pozzi di profondità fino a 400 metri per ricerca, estrazione e utilizzazione di fluidi geotermici o acque calde, comprese quelle sgorganti da sorgenti per potenza termica complessiva non superiore a 2.000 kW termici, anche per eventuale produzione di energia elettrica con impianti a ciclo binario ad emissione nulla.
- Sono definite anche **piccole utilizzazioni locali** di calore geotermico quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo senza effettuare il prelievo e la reiniezione nel sottosuolo di acque calde o fluidi geotermici.

6.3 Iter autorizzativo per la presentazione dei permessi di ricerca e di concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale nella Regione Sicilia

La risorsa geotermica alla base del presente studio si classifica come risorsa geotermica d'interesse locale, da concedere mediante richiesta di permesso di ricerca. La Sicilia essendo Regione autonoma a statuto speciale ha adottato una normativa propria per la ricerca e la coltivazione di tali risorse, che differisce dalle disposizioni vigenti sul territorio nazionale.

Il principale riferimento legislativo è rappresentato dalla Legge Regionale del 3 luglio 2000 n°14 *“Disciplina della prospezione, della ricerca, della coltivazione, del trasporto e dello stoccaggio di idrocarburi liquidi e gassosi e delle risorse geotermiche nella Regione Siciliana. Attuazione della direttiva 94/22. CE”* e dal Disciplinare Tipo del 30 ottobre 2003 *“Disciplinare tipo dei permessi di prospezione, di ricerca, concessioni di coltivazione di idrocarburi liquidi e gassosi”*.

La normativa regionale siciliana prevede tre tipologie di titoli minerari:

- Permesso di Prospessione
- Permesso di Ricerca
- Concessione di Coltivazione.

Il permesso di prospezione, titolo minerario non esclusivo, consiste nell'effettuare rilievi geografici, geologici e geofisici, geotermici, geochimici con metodi, mezzi e tecnologie diverse, atti ad accettare le caratteristiche del sottosuolo ai fini della ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi (e risorse geotermiche n.d.a). Tale titolo non è la prima tappa obbligata di un progetto geotermico, per cui è possibile richiedere istanza di permesso di ricerca in una determinata area senza aver mai ottenuto precedentemente alcun permesso di prospezione.

Il permesso di ricerca è un titolo minerario esclusivo che consente le attività di ricerca di risorse geotermiche in una determinata area e rappresenta la prima fase di un progetto geotermico.

L'istanza di permesso di ricerca e la relativa documentazione tecnica da allegare devono essere redatte secondo le indicazioni della L.R.S. 14/2000 e relativo Disciplinare Tipo. L'istanza, redatta in carta legale e corredata da una marca da bollo da 16,00 euro ogni quattro pagine, deve essere presentata all'Autorità competente al conferimento dei titoli minerari nell'ambito della Regione Siciliana. Ai sensi della Legge sopraccitata l'Autorità competente al conferimento dei titoli minerari è l'Assessore Regionale all'Energia e ai Servizi di Pubblica Utilità che si avvale, per l'istruttoria ed il controllo sull'esercizio dell'attività, dell'U.R.I.G. “Ufficio Regionale per gli Idrocarburi e la Geotermia” (Servizio VIII del Dipartimento dell'Energia) sito in via Ugo La

Malfa, n. 101, Palermo. Tale istanza deve essere completa dei dati inerenti la società proponente (sede legale, codice fiscale, numero REA, ecc.), specificando le Province ed i Comuni in cui ricade l'area richiesta ed un nominativo convenzionale del permesso (corrispondente ad un toponimo compreso nell'area d'interesse), la superficie del permesso (espressa in ettari), la descrizione monografica dei vertici e la tabella riassuntiva delle coordinate geografiche dei vertici stessi. Inoltre all'istanza di permesso di ricerca dovranno essere allegati:

- a. la planimetria della zona per cui è richiesto il permesso (piano topografico);
- b. una relazione tecnica sullo stato delle conoscenze geominerarie dell'area e sugli obiettivi minerari;
- c. il programma di lavoro di ricerca e di “esplorazione meccanica” (perforazioni esplorative) che si intendono eseguire, con l'indicazione delle relative previsioni di spesa.

Ai fini del rilascio del permesso di ricerca, dovrà essere redatta l'istanza di “Verifica di Assoggettabilità a VI.A.”

L'istanza di Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale deve essere presentata in carta legale all'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della Regione Sicilia, Servizio 1 - “VAS-VIA”, Via Ugo La Malfa, 169 - 90146 – Palermo.

Unitamente al progetto preliminare (programma di lavoro n.d.a) deve essere riportato lo

“studio preliminare ambientale” sulle modifiche ambientali relative al permesso di ricerca in terraferma (fornendo, inoltre, una loro copia in formato elettronico).

L'Autorità competente verificherà il progetto e qualora non ravveda impatti ambientali significativi, potrà disporre l'esclusione dalla procedura di VI.A., altrimenti si applicheranno le disposizioni inerenti alla procedura di VI.A di cui agli articoli 21-28 del D. Lgs. 152/2006.

Al titolare del permesso di ricerca, che abbia rinvenuto risorse geotermiche, viene accordata la concessione di coltivazione se l'URIG, sulla base della capacità produttiva dei pozzi e delle valutazioni geominerarie, giustifica tecnicamente ed economicamente lo sviluppo del giacimento scoperto.

L'istanza di concessione deve essere presentata all'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, entro un anno dalla data di riconoscimento da parte dell'URIG del ritrovamento del giacimento con le suddette caratteristiche, pena la decadenza del titolo.

Alla domanda dovranno essere allegati il programma dei lavori di sviluppo e di produzione del campo, il programma degli ulteriori lavori di ricerca e lo studio di valutazione preventiva delle modifiche ambientali (coincidente con lo Studio di Impatto Ambientale).

Per ulteriori approfondimenti sulla tempistica dei procedimenti e sulla documentazione da produrre si rimanda al testo *“VIGOR: Sviluppo Geotermico nelle Regioni della Convergenza”*. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Bibliografia di riferimento

AGIP (1977) – *Temperature sotterranee. Inventario di dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia*, Fratelli Brugora, Segrate (Milano), 1.390 pp.

Alaimo R., Carapezza M., Dongarrà G. & Hauser S. (1987) - *Geochimica delle sorgenti termali siciliane*. In: AA. VV., "Risorse termali della Sicilia ed isole minori". Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica, Univ. di Palermo. Regione Sicilia, Assessorato Territorio e Ambiente, 47-65, STASS, Palermo.

Alaimo R., Calderone S., Inguaggiato S. & Sortino F. (1990) – *Geochimica sugli acquiferi termali della Sicilia occidentale*. "Geologia Applicata e Idrogeologia", 25, Bari.

Alaimo R. & Censi P. (1983) – *Determinazioni di δO^{18} e di δD su campioni di acque sotterranee siciliane. Implicazioni geochimiche e geotermiche*. "Miner. Petrogr. Acta", 27, 183-200.

Aureli A., Contino A., Cusimano G., Di Pasquale M., Musumeci G., Pisciotta A., Provenzano M. C. & Gatto L. (2007) - *Contamination of coastal aquifers anthropogenic activity from intense anthropic activity in south-western Sicily, Italy*. In: Witkowski A., Kowalczyk A. & Vrba J. (Eds.), "Groundwater vulnerability Assessment and Mapping. Selected papers from the Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping, International Conference, Ustron, Poland, 2004". International Association of Hydrologists Selected Papers, SP 11, International Association of Hydrogeologists (I. A. H.), Taylor & Francis Group, London. Chapter 5, 63-71.

Bartolomei G., Celico P. & Pecoraro A. (1983) - *Schema idrogeologico della Sicilia nord-occidentale*. "Boll. Soc. Geol. It.", 102, 329-354, Roma.

Caracausi A., Favara R., Italiano F., Nuccio P. M., Paonita, A. & Rizzo, A. (2005). *Active geodynamics of the central mediterranean sea: heat and helium evidences for a trans-tensional zone connecting the Sicily Channel to the southern Tyrrhenian Sea*. "Geophys. Res. Lett.", 32, L04312. doi:10.1029/2004GL021608.

Catalano R. (1998) – *Struttura della Catena siciliana. Una introduzione*. In: Catalano R & Lo Cicero G. (a cura di), "Guida alle Escursioni. Vol. 1. La Sicilia occidentale. 79° Congresso della Società Geologica Italiana, La Sicilia, un laboratorio naturale nel Mediterraneo", 7-12.

Catalano R., Cusimano G., Grasso M., Lentini F., Macaluso T., Monaco P., Monteleone S., Pipitone G., Fancelli R., Squarci P. & Taffi L. (1988a) - *Inventario delle risorse geotermiche nazionali. Regione Sicilia*. C. N. R., Istituto internazionale per le ricerche geotermiche, 22 pp., appendici, Pisa.

Catalano R., Cusimano G., Grasso M., Lentini F., Macaluso T., Monaco P., Monteleone S. & Pipitone G. (1988b) - *Inventario delle risorse geotermiche nazionali. Regione Sicilia. Principali strutture idrogeologiche della Sicilia*. C. N. R., Istituto internazionale per le ricerche geotermiche, 17 pp., tavv., Pisa.

Catalano R. & D'Argenio B. (1982) - *Schema geologico della Sicilia occidentale*. In: Catalano R., & D'Argenio B., (eds): *Guida alla geologia della Sicilia occidentale*. Società Geologica Italiana, Palermo

Catalano R., Di Stefano P., Sull, A., & Vitale F. P. (1996) - *Paleogeography and structure of the central Mediterranean: Sicily and its offshore area*. "Tectonophysics", 260, 291–323.

Catalano R., Macaluso T., Monteleone S. & Calandra D. (1982) - *Lineamenti geostrutturali, idrogeologici e geotermici della Sicilia Occidentale*. In: AA. VV., "Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del territorio Italiano" - Progetto finalizzato energetica, 110–120.

Contino A.(2011) – *Sfruttamento antropico delle risorse. Risorse minerarie. Idrogeologia. Termalismo*. In: R. Catalano, et al., Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000 del foglio 593 "Castellammare del Golfo". Progetto CARG, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università degli Studi di Palermo. 197-201.

Cusimano G., Frias Forcada A., Gatto L. & Incandela A. (2002) – *Assetto idrostrutturale dei Monti di Trapani (Sicilia nord-occidentale) e valutazione delle risorse idriche immagazzinate*. Atti del 4° Convegno di Speleologia della Sicilia, Custonaci, 1-5 maggio 2002, suppl. "Speleologia Iblea", 10, 117-124.

D'Angelo U., Ruggieri G., Unti M. & Vernuccio S. (1980) – *Neotettonica dei Fogli 248 (Trapani), 249 (Palermo), 250 (Bagheria), 258 (Alcamo), 259 (Termini Imerese) e 266 (Sciacca)*. "Contr. Prel. alla realizzazione della Carta neotettonica d'Italia, 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica", I, 203-236.

Di Maggio C., Agate M., Contino A., Basilone L. & Catalano R. (2009) - *Unità a limiti inconformi dei depositi quaternari utilizzate per la cartografia nei fogli CARG della Sicilia nord occidentale*. "Il Quaternario. Italian Journal of Quaternary Sciences", 22(2), 345-364

Fancelli R., Monteleone S., Nuti S., Pipitone G., Rini S. & Taffi L. (1991) - Nuove conoscenze idrogeologiche e geotermiche nella Sicilia occidentale. "Geologia ed idrogeologia", Bari , 26, 25–38.

Fancelli R., Nuti S., Taffi L., Monteleone S. & Pipitone G. (1994) - *Studio idrogeochimico e termico per la valutazione della Sicilia occidentale*. In: AA. VV., "Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali". Ministero dell'industria, del commercio e dell'Artigianato; Valutazione geotermica della Sicilia occidentale, ENEL/ENI/CNR/ENEA.

Guidoboni E., Mariotti D., Giammarinaro M. S. & Rovelli A. (2003) – *Identification of Amplified Damage Zones in Palermo, Sicily (Italy), during the Earthquakes of the Last Three Centuries*. Bull. Seism. Soc. Am., 93, 4, 1649-1669.

Lee H. K. & Uyeda S. (1965) – *Review of heat flow data, in "Terrestrial heat flow"*, "Amer. Geophys Un. Geophys. Monog.", Washington, 18, 87-190.

Montanari D., Bertini G., Botteghi S., Caiozzi F., Doveri M., Gianelli G., Gola G., Manzella A., Minissale A., Montegrossi G., Trumpy E., De Franco R., Caielli G., Norini G., Monteleone S., Catalano R., Contino A., Gennaro C., Iorio M. & Sabatino M. (2012) – *Mazara del Vallo Geothermal assessment, Sicily*: In: Quattrocchi F., Cantucci B., Procesi M., Sciarra A. & Nardi S. (Eds.), “39th Course of the International School of Geophysics Understanding Geological System for Geothermal Energy”. Ettore Maiorana Foundation and Centre for Scientific Culture (EMFCSC), Erice, 25th September-1st October 2012, 73-74.

Montanari D., Bertini G., Botteghi S., Caielli G., Caiozzi F., Catalano R., Contino A., De Franco R., Doveri M., Fedi M., Gianelli G., Gola G., Iorio M., La Manna M., Manzella A., Minissale A., Montegrossi G., Monteleone S., Norini G., Tranchida G., Trumpy E. (2013) – *Multidisciplinary characterisation and modelling of the medium enthalpy geothermal reservoir of western Sicily: results from the VIGOR Project*. Geoitalia 2013 IX Forum Italiano di Scienze della Terra, Pisa, 16-18 settembre 2013 (sessione 12. Earth Resources C. 9 – From fieldwork to modelling in exhumed and active geothermal systems), 119-120.

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Appendice

Appendice 1 Simulazione del comportamento del sistema

Calcolo delle potenze.....	72
Calcolo delle energie.....	73
Riepilogo simulazione del comportamento del sistema.....	74
Risparmio energetico annuo.....	75
Variazione dei flussi di cassa.....	76

Appendice 2 Preventivo di massima del costo d'investimento

Preventivo del costo d'investimento.....	77
--	----

Appendice 3 Analisi di fattibilità economica

Flussi annuali in moneta a valore costante (euro).....	78
Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i.....	79
Risultati finali 1.....	80
Risultati finali 2.....	81

Appendice 1 Simulazione del comportamento del sistema

Calcolo delle potenze

FABBISOGNI DA COPRIRE			CENTRALE TERMICA				CONSUMI ENERGIA ELETTRICA		
Durata annua h/anno	giorno(D) notte(N)	Fascia oraria energia elettrica	Fabbisogni termofrigoriferi da coprire			Fab. acqua calda coperto da	Pompa di calore	Altri ausiliari	Consumo totale
			acqua calda	acqua calda	Perdite di rete	Totale acqua calda	Scamb. diretto	Pompa di calore	
INVERNO									
48	D	-	-	-	9.360	340	9.700	3.200	6.500
24	N	-	-	-	5.148	340	5.488	3.200	2.288
19	D (*)	-	-	-	7.956	340	8.296	3.200	5.096
10	N (*)	-	-	-	5.148	340	5.488	3.200	2.288
214	D	-	-	-	7.488	340	7.828	3.200	4.628
107	N	-	-	-	4.212	340	4.552	3.200	1.352
86	D (*)	-	-	-	6.084	340	6.424	3.200	416
43	N (*)	-	-	-	4.212	340	4.552	3.200	1.352
381	D	-	-	-	6.084	340	6.424	3.200	992
190	N	-	-	-	3.276	340	3.616	3.200	416
152	D (*)	-	-	-	4.212	340	4.552	3.200	1.352
76	N (*)	-	-	-	3.276	340	3.616	3.200	416
740	D	-	-	-	2.808	340	3.148	3.148	-
370	N	-	-	-	1.413	340	1.753	1.753	-
296	D (*)	-	-	-	2.808	340	3.148	3.148	-
148	N (*)	-	-	-	1.413	340	1.753	1.753	-
ESTATE									
1.236	D	Peak	5.025	7.179	985	256	8.420	1.920	6.500
618	N	Off peak	1.508	2.154	246	256	2.656	1.920	736
494	D (*)	Off peak	2.513	3.589	493	256	4.338	1.920	2.418
247	N (*)	Off peak	911	1.301	197	256	1.754	-	-
1.190	D	Peak	1.808	2.583	296	256	3.135	1.920	1.215
595	N	Off peak	911	1.301	148	256	1.705	1.705	-
476	D (*)	Off peak	1.808	2.583	148	256	2.987	1.920	1.067
238	N (*)	Off peak	911	1.301	100	256	1.657	1.657	-
362	D	Peak	754	1.077	100	256	1.433	1.433	-
181	N	Off peak	276	395	50	256	701	701	-
145	D (*)	Off peak	754	1.077	100	256	1.433	1.433	-
72	N (*)	Off peak	276	395	50	256	701	701	-

(*) ORE IN GIORNI NON FERIALI

Appendice 1 Simulazione del comportamento del sistema

Riepilogo simulazione del comportamento del sistema

FLUSSI ENERGETICI	ESTATE	INVERNO	TOTALE
	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno
FABBISOGNI FRIGORIFERI			
Fabbisogno frigorifero			
- fabbisogni di utenza	12.835		12.835
FABBISOGNI TERMICI			
Fabbisogno termico circuito acqua calda			
- fabbisogni utenza	2.259	11.001	13.260
- fabbisogni per alimentazione gruppi frigo ad assorbimento monostadio	18.336		18.336
- perdite calore da rete	1.501	987	2.487
- TOTALE	22.096	11.988	34.084
Copertura dei fabbisogni utenza mediante:			
- scambiatore di calore diretto	10.457	8.489	18.946
- pompa di calore	11.640	3.499	15.138
- TOTALE	22.096	11.988	34.084
Percentuali di copertura:			
- scambiatore di calore diretto	47,3%	70,8%	55,6%
- pompa di calore	52,7%	29,2%	44,4%
- TOTALE	100,0%	100,0%	100,0%
FABBISOGNI ELETTRICI			
Fabbisogni elettrici			
• consumo elettrico pompa di calore:			
- ore di punta	2.917	778	3.695
- ore non di punta	664	298	962
- Totale	3.581	1.076	4.658
• consumo elettrico ausiliari e altri macchinari di centrale			
- ore di punta	343	155	498
- ore non di punta	236	137	373
- Totale	580	292	872
• Totale fabbisogni elettrici (utenza + autoconsumi di centrale)			
- ore di punta	3.260	933	4.194
- ore non di punta	901	435	1.336
- TOTALE	4.161	1.369	5.530
Copertura dei fabbisogni mediante:			
• importato dalla rete			
- ore di punta	3.260	933	4.194
- ore non di punta	901	435	1.336
• TOTALE	4.161	1.369	5.530

Risparmio energetico annuo

Appendice 1 Simulazione del comportamento del sistema

GRANDEZZE	MWh/anno prodotti	Prendimento	MWh/anno consumati	TEP/anno
CONSUMI NELLA SITUAZIONE DI RIFERIMENTO				
Energia elettrica sostituita ed equivalente al consumo di energia elettrica di gruppi frigo a compressione condensati ad aria necessari per la copertura degli interi fabbisogni frigoriferi	4.754	46,0%	10.334	889
Energia termica sostituita ed equivalente consumo di calore nelle caldaie d'utenza:	13.260	90,0%	14.734	1.267
A = Consumo calore nella situazione di riferimento			25.068	2.156
CONSUMI DEL NUOVO IMPIANTO				
Energia elettrica importata dalla rete	5.530	46,0%	12.021	1.034
B = Consumo di calore totale del nuovo impianto			12.021	1.034
C = A - B = Risparmio energetico annuo			13.047	1.122
Risparmio energetico / Consumo precedente (C / A)	%		52%	52%

Appendice 1 Simulazione del comportamento del sistema

Variazione dei flussi di cassa

CENTRALE GEOTERMICA CON POMPA DI CALORE					
DENOMINAZIONE FLUSSO					
A)	RICAVI				
		Tariffa Euro/kWh	Quantitativo kWh/anno	Ricavo Euro/anno	
1	Vendita energia termica per riscaldamento invernale e produzione ACS	0,090	13.260.305	1.193.427	
2	Vendita energia termica per alimentazione frigo ad assorbimento	0,051	18.336.302	929.379	
		Tariffa Euro/TEP	Quantitativo TEP/anno		
3	Certificati bianchi	86,9	1.122	97.502	
	TOTALE RICAVI			2.220.308	
B)	COSTI	Tariffa Euro/kWh	Quantitativo kWh/anno	Costo Euro/anno	
1	Acquisto energia elettrica dalla rete				
	- Fascia oraria di punta	0,170	4.193.878	712.959	
	- Fascia oraria non di punta	0,090	1.335.645	120.208	
2	Manutenzione (apparecchiature di centrale e rete di TLR)			150.000	
3	Personale di gestione			150.000	
	TOTALE COSTI			1.133.167	
C)	MARGINE OPERATIVO LORDO			1.087.141	

Preventivo del costo d'investimento

DESCRIZIONE	u.m.	Quantità	Costo unitario (Euro)	Costo totale (Euro)
A) CIRCUITO GEOTERMICO		a corpo	1	2.500.000,00
B) CENTRALE DI TELERISCALDAMENTO		n.	1	2.800.000,00
B.1 Pompa di calore da 6.500 kWt		a corpo	1	95.000,00
B.2 Scambiatori di calore e altra componentistica di centrale		a corpo	1	95.000
B.3 Sistema trattamento acqua rete teleriscaldamento		a corpo	1	15.000,00
B.6 Implantistica al servizio della rete di teleriscaldamento (pompe, vasi di espansione, etc.)		a corpo	1	50.000,00
B.8 Tubazioni, valvole e collettorizzazioni		a corpo	1	80.000,00
B.9 Impianti ausiliari (antincendio, scarichi, aria compressa, etc.)		a corpo	1	20.000,00
B.10 Montaggi meccanici		a corpo	1	100.000,00
B.11 Implantistica elettrica (compresi montaggi elettrostrumentali)		a corpo	1	300.000,00
B.12 Strumentazione e sistema di supervisione e controllo		a corpo	1	50.000,00
B.13 Sistemi di contabilizzazione del calore		a corpo	1	25.000,00
B.14 Centralina per sistema di allarme perdite di rete		a corpo	1	15.000,00
B.15 Opere civili		a corpo	1	300.000,00
Subtotale B				3.850.000
C) SISTEMA DI DISTRIBUZIONE				
C.1 Rete di teleriscaldamento (movimenti di terra, tubazioni, dorsali di alimentazione, alacciamenti)	kWt	9.360	180,00	1.684.800
C.2 Sottocentrali termiche per la produzione di sola energia termica	n.	80	10.000,00	800.000
C.3 Sottocentrali termiche per la produzione di energia termica e energia frigorifera mediante gruppi frigo ad assorbimento monostadio, con relativa torre di raffreddamento	n.	20	150.000,00	3.000.000
Subtotale C				5.484.800
Subtotale A + B + C				11.334.800
C) ATTIVITÀ DI INGEGNERIA				850.200
COSTO DI INVESTIMENTO COMPLESSIVO				12.685.000

Appendice 3 Analisi di fattibilità economica

Flussi annuali in moneta a valore costante (euro)

Anno	Costo investimento	FLUSSO					Totale
		Vendita energia termica per riscaldamento invernale e produzione acs	Vendita energia termica per alimentazione frigo ad assorbimento	Certificati bianchi	Acquisto energia elettrica dalla rete	Manutenzione apparecchiature di centrale	
1	-2.685.000						-2.685.000
2	-10.000.000	1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	-10.000.000
3		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
4		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
5		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
6		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
7		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
8		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
9		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
10		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
11		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
12		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
13		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
14		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
15		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
16		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
17		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
18		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
19		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
20		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
21		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
22		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
23		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
24		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140
25		1.193.427	929.379	97.501	-833.167	-150.000	1.087.140

Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i

Variazione percentuale dell'investimento	Valore Attualizzato Netto (Euro)	P.R.A. al netto degli anni di costruzione (anni)	Tasso Interno di Rendimento (%)
-40%	5.881.279	9,32	12,51
-38%	5.637.102	9,75	12,01
-36%	5.392.926	10,16	11,54
-34%	5.148.750	10,52	11,09
-32%	4.904.574	10,94	10,67
-30%	4.660.398	11,41	10,27
-28%	4.416.222	11,82	9,88
-26%	4.172.045	12,30	9,51
-24%	3.927.869	12,87	9,16
-22%	3.683.693	13,32	8,82
-20%	3.439.517	13,86	8,50
-18%	3.195.341	14,41	8,19
-16%	2.951.164	15,02	7,89
-14%	2.706.988	15,54	7,60
-12%	2.462.812	16,29	7,33
-10%	2.218.636	16,75	7,06
-8%	1.974.460	17,42	6,80
-6%	1.730.283	17,94	6,55
-4%	1.486.107	18,62	6,31
-2%	1.241.931	19,48	6,08
0%	906.378	19,85	5,80

Flusso di cassa: costo dell'investimento

Appendice 3 Analisi di fattibilità economica

Risultati finali 1

Anno	Flusso di cassa	Flusso cumulato attualizzato
1	-2.685.000	-2.685.000
2	-10.000.000	-12.208.810
3	1.109.301	-11.222.741
4	1.109.301	-10.283.629
5	1.109.301	-9.389.236
6	1.109.301	-8.537.434
7	1.109.301	-7.726.193
8	989.639	-7.022.875
9	989.639	-6.353.048
10	989.639	-5.715.118
11	989.639	-5.107.566
12	989.639	-4.528.944
13	989.639	-3.977.876
14	989.639	-3.453.050
15	989.639	-2.953.215
16	989.639	-2.477.181
17	989.639	-2.023.816
18	989.639	-1.592.040
19	989.639	-1.180.825
20	989.639	-789.191
21	989.639	-416.207
22	989.639	-60.983
23	989.639	277.325
24	989.639	599.523
25	989.639	906.378

Durata dell'investimento: 25 anni

Tasso di attualizzazione: 5%

Valore attualizzato netto = 906.378 euro

Periodo di recupero attualizzato al netto degli anni di costruzione = 19,85 anni

Risultati finali 2

Anno	Flusso di cassa	Flusso cumulato attualizzato
1	-2.685.000	-2.685.000
2	-10.000.000	-12.131.904
3	1.109.301	-11.141.919
4	1.109.301	-10.206.690
5	1.109.301	-9.323.189
6	1.109.301	-8.488.553
7	1.109.301	-7.700.081
8	989.639	-7.035.569
9	989.639	-6.407.810
10	989.639	-5.814.772
11	989.639	-5.254.536
12	989.639	-4.725.285
13	989.639	-4.225.308
14	989.639	-3.752.983
15	989.639	-3.306.783
16	989.639	-2.885.262
17	989.639	-2.487.056
18	989.639	-2.110.874
19	989.639	-1.755.498
20	989.639	-1.419.778
21	989.639	-1.102.627
22	989.639	-803.017
23	989.639	-519.979
24	989.639	-252.595
25	989.639	0

Durata dell'investimento: 25 anni

Tasso interno di rendimento: 5,80%

pagina lasciata intenzionalmente vuota

VIGOR:
STUDIO
DI
FATTIBILITÀ A
TERMINI
IMERESE

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Executive Summary

Questo studio descrive la valutazione geotermica effettuata nel sito di Termini Imerese (PA) e la proposta tecnico-economica per lo sviluppo di un progetto impiantistico relativo a risorse geotermiche a bassa entalpia e la realizzazione di un impianto per alimentare un sistema di dissalazione di acqua di mare.

La verifica della possibilità di utilizzo della risorsa geotermica per la realizzazione dell'impianto e la valutazione quindi della sua fattibilità, è avvenuta mediante indagini geologico-geomorfologiche, idrogeologiche, geofisiche ed è stata completata con i dati ottenuti mediante un sondaggio geognostico profondo che ha permesso di verificare ed affinare il modello concettuale di circolazione dei fluidi. Il sondaggio geognostico ha intercettato: *i)* un notevole spessore del complesso calcareo e silico-calcareo-marnoso che ospita acquiferi multifalda; *ii)* una falda a bassa entalpia (22 °C) all'interno del complesso carbonatico multifalda (Brecce a Rudiste). Il serbatoio geotermico vero e proprio, costituito dai calcari con selce e

dalle dolomie confinato superiormente dai corpi silicei e carbonatici (acquifero multifalda), non è stato raggiunto dal sondaggio.

Esso verosimilmente deve essere collocato ad una profondità di circa 400-450 m dal p.c., quindi, a circa 100 m di profondità al di sotto del fondo foro del sondaggio geognostico profondo VIGOR. Tale evidenza, non comporta una modifica nella proposta impiantistica alla base del presente studio che prevedeva di utilizzare acqua geotermica alla temperatura di 40 °C per alimentare una pompa di calore per la produzione di energia termica sottoforma di acqua calda a 80 °C. Tale energia è necessaria per compiere i processi evaporativi nell'impianto di dissalazione. L'approfondimento del pozzo di ulteriori 100-150 m rispetto alla profondità raggiunta dal sondaggio (351,30 m) implica un aumento dei costi di perforazione necessari per attingere alla risorsa prevista per il funzionamento dell'impianto.

Per individuare le modalità più idonee di esercizio degli impianti e valutare i quantitativi

energetici ottenibili su base annua (energie prodotte e consumi di combustibile), è stata eseguita una simulazione completa del comportamento del sistema, determinando su base annua, i flussi inerenti l'impianto, sia in termini quantitativi, che in termini energetici ed economici, confrontando una centrale di tipo convenzionale (cioè su una caldaia alimentata a combustibile fossile ed alimentazione elettrica dalla rete nazionale) con una centrale geotermica con pompe di calore. Da questo confronto risulta un risparmio energetico ottenuto con l'impianto geotermico di circa il 35% rispetto ai costi sostenuti con un impianto convenzionale.

L'impatto ambientale del sistema proposto è nullo in quanto l'impianto non presenta emissioni in atmosfera. Le emissioni in atmosfera delle centrali elettriche che forniscono l'energia alla pompa di calore sono annullate dall'adozione della tipologia d'impianto "full green".

La stima del costo dell'investimento per la realizzazione dell'impianto è pari a 14.764.000 €, a cui devono essere sottratti i costi che si dovrebbero comunque sostenere per realizzare un impianto con centrale termica di tipo convenzionale, stimati in 10.028.000 €. Pertanto il maggior costo della centrale geotermica, sul quale si basa l'intera analisi economica dell'iniziativa, è di 4.736.000 €.

L'analisi di fattibilità economica eseguita ha utilizzato il metodo dell'attualizzazione del flusso di cassa generato dal progetto. L'analisi è stata eseguita a moneta costante, in assenza di inflazione, considerando una durata dell'investimento di 25 anni, dei quali uno di progettazione e costruzione e ventiquattro di esercizio (che, quindi inizia al secondo anno). I risultati ottenuti analizzando i costi d'investimento (costi e ricavi di esercizio), consentono di valutare la redditività dell'impianto, che prevede un periodo di recupero dell'investimento (a partire dall'esercizio) di circa 7 anni, con un valore attualizzato netto di 5.275.365 € ed un tasso di rendimento di circa il 16%. L'analisi di

fattibilità economica è stata corredata da una serie di analisi di sensitività dei risultati, producendo le variazioni degli indici di riferimento (il valore attualizzato netto, VAN; il periodo di recupero attualizzato dell'investimento, PRA; ed il tasso interno di rendimento, TIR) al variare del costo dell'investimento.

In considerazione del valore dimostrativo dell'intervento proposto, è stata valutata la possibilità di realizzare un impianto con funzionamento "full green". Per la fornitura di energia elettrica sono state prese in considerazione diverse possibilità (motore cogenerativo ad olio combustibile, impianto fotovoltaico, impianto eolico, contratti dedicati di fornitura elettrica con garanzia dell'origine dell'energia acquistata), concludendo che la soluzione più semplice e sicuramente più conveniente, è quella di stringere un contratto di fornitura elettrica con garanzia di produzione da fonti rinnovabili.

Viene infine descritto il quadro normativo relativo alla realizzazione di piccoli impianti geotermici per la Regione Sicilia, alla luce della situazione attuale (ottobre 2014).

Allegati e siti web di riferimento

Cartografia

Il presente documento è corredata dai seguenti prodotti cartografici (indicati in corsivo nel testo), allegati a parte e disponibili online in formato pdf. Nella versione a stampa sono disponibili solo gli Allegati contrassegnati da asterisco.

- *Allegato 1:* Carta geologica
- *Allegato 2:* Sezioni geologiche
- *Allegato 3:* Schema geologico-strutturale
- *Allegato 4:* Stazioni strutturali
- *Allegato 5:* Carta dei complessi idrogeologici
- *Allegato 6:* Sezioni idrogeologiche
- *Allegato 7:* Carta morfostrutturale
- *Allegato 8:* Sezioni geofisiche*
- *Allegato 9:* Carta con ubicazione del sondaggio

esplorativo*

- *Allegato 10:* Colonna stratigrafica ed idrostratigrafica del sondaggio geognostico
- *Allegato 11:* Bilancio di massa ed energia*
- *Allegato 12:* Schema di flusso concettuale dell'impianto di dissalazione
- *Allegato 13:* Schema di flusso concettuale della centrale termica a pompa di calore
- *Allegato 14:* Layout dell'impianto di dissalazione

Le appendici sono invece parte integrante di questo documento (indicate in grassetto nel testo).

Siti Web

Questo documento e tutte le mappe descritte in questo volume sono disponibili, visualizzabili e scaricabili dalla pagina >prodotti del sito web del progetto VIGOR <http://www.vigor-geotermia.it>

Tutto il materiale cartografico elaborato dal progetto VIGOR è disponibile sul portale webGIS, raggiungibile direttamente al link <http://www.vigor-geotermia.it/geo-portal/> oppure tramite la pagina >prodotti del sito di VIGOR. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Introduzione

Il progetto VIGOR (Valutazione del Potenziale Geotermico delle regioni della Convergenza) mira alla promozione di interventi innovativi riguardanti l'impiego dell'energia geotermica, a partire dalle regioni della Convergenza. La sfida di VIGOR consiste nell'estendere l'utilizzo del calore geotermico per produrre in maniera economica, elettricità e/o calore da una risorsa rinnovabile globalmente distribuita e presente 24 ore su 24.

VIGOR può rappresentare anche un punto di partenza per affermare il nuovo paradigma energetico legato alla generazione diffusa e distribuita di energia da fonti rinnovabili, incidendo sensibilmente sui risparmi energetici e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, conseguendo significativi vantaggi in termini di lotta ai cambiamenti climatici. Investire sulla geotermia significa anche scommettere sul futuro del Paese: usufruendo, da una parte, dei benefici energetici ed ambientali che la risorsa rinnovabile può fornire e, dall'altra, delle ricadute di tipo occupazionale, economico, produttivo e di *know how* scientifico che si possono

innescare con l'utilizzo consapevole e mirato della risorsa geotermica.

Nei capitoli successivi sarà illustrato lo studio tecnico-economico per lo sviluppo di un progetto impiantistico a risorse geotermiche a bassa entalpia e la realizzazione di un impianto per alimentare un sistema di dissalazione di acqua di mare. Considerata la vicinanza del mare e la possibilità di utilizzare i fluidi geotermici nei dintorni della costa, l'area è stata scelta per proporre un impianto geotermico per alimentare un sistema di dissalazione che utilizza un processo evaporativo di tipo *Multiple Effect Desalination* (MED, evaporazione ad effetti multipli).

L'area di studio è ubicata a Termini Imerese, un comune della provincia di Palermo con circa 30.000 abitanti situato sulla costa a nord di un tratto della catena nord-siciliana, vedi *Figura 1*.

Questa è composta da diverse unità carbonatiche, permeabili per fratturazione e/o carsismo, che ospitano acquiferi importanti, in profondità riscaldati per effetto della circolazione profonda e

del gradiente geotermico. Nell'area sono presenti due emergenze termali (*Terme di Imera* note sin dall'antichità, tanto da dare origine al nome della cittadina) captate attraverso due distinte opere di epoca romana e ubicate in corrispondenza dei due stabilimenti termali con una portata media complessiva di circa 10-15 l/s e temperature di poco superiori a 40 °C.

Altre emergenze termali, alcune ubicate a ridosso della costa, sono note nei dintorni e sono generalmente legate a sistemi di faglie che fungono da vie preferenziali per la risalita delle acque calde, mentre nelle aree strutturalmente depresse le coperture impermeabili sigillano i fluidi termali presenti nei serbatoi. L'area di

studio ha un'estensione di 20 km² e presenta un assetto geomorfologico piuttosto eterogeneo che comprende piane costiere, fasce pedemontane, incisioni fluviali e rilievi montuosi.

Chi volesse approfondire gli studi di valutazione della risorsa qui sinteticamente riportati può contattare il Coordinamento, tramite il sito web di progetto (<http://www.vigor-geotermia.it>), o contattare il CNR (coordinamento generale, CNR-IGG di Pisa, Dott.ssa Manzella e il coordinamento attività di valutazione dell'area di Termini Imerese, CNR-IAMC, Dott.ssa Iorio).

Per approfondimenti sugli studi dell'impianto contattare il CNR-IPCF di Cosenza, Ing. Lombardo. ■

Figura 1.
Collocazione
geografica del sito



1. Caratteristica della risorsa geotermica e dell'utilizzo proposto

1.1 La risorsa geotermica

L'area geotermica di Termini Imerese, si inquadra nel contesto stratigrafico-strutturale della Sicilia centro-settentrionale ed occidentale, un segmento della catena nord-siciliana (Catalano *et al.*, 1996). La catena a pieghe e sovrascorimenti siciliana è composta di diverse unità tettoniche impilate derivanti dalla deformazione (durante il Miocene ed il Pliocene) di successioni carbonatico-silicoclastiche e carbonatiche deposte in adiacenti domini paleogeografici mesozoici, rispettivamente di bacino e di piattaforma, appartenenti al margine continentale africano (Catalano & D'Argenio, 1982). Si tratta, quindi, di aree orogeniche recenti che, come è noto, costituiscono zone ad alto flusso di

calore (Lee & Uyeda, 1965).

Le successioni carbonatiche, permeabili per fratturazione e/o carsismo, ospitano nel loro seno degli acquiferi che possono costituire degli ottimi serbatoi. Nelle aree strutturalmente depresse i serbatoi sono coronati da successioni terrigene che costituiscono le loro coperture impermeabili e che sigillano i fluidi termali presenti nei serbatoi. Le emergenze idrotermali dell'area imerese sono generalmente legate a sistemi di faglie che fungono da vie preferenziali per la risalita delle acque calde.

Le manifestazioni idrotermali più rilevanti sono le sorgenti termali clorurate di Termini Imerese, ma sono note emergenze anche nei dintorni. Alcune manifestazioni sottomarine sono ubicate

a ridosso della costa (Ciofalo, 1924), mentre altre scaturigini minori, con temperature prossime ai 20 °C sono documentate nell'area a SE dell'abitato e qualcuna è scomparsa a seguito di eventi sismici (sorgente Favara). Pozzi di modesta profondità, scavati a mano, che attingevano acque termali sono documentati all'interno dell'abitato (Ciofalo, 1924). L'unico pozzo termale (temperature di poco superiori ai 20 °C) di una certa profondità (attorno ad un centinaio di metri) è ubicato a SO dell'abitato (pozzo "Ponte Sicilia") ed attualmente è inaccessibile.

Nell'area di Termini Imerese sono presenti delle emergenze termali (*Bagni Vecchi o Sorgente di SO e Bagni Nuovi o Sorgente di NE*) clorurato-solfato-alcaline note sin dall'antichità (*Terme d'Imera*), tanto da dare origine al nome della cittadina; le due emergenze, captate attraverso due distinte opere sin dall'epoca romana, sono ubicate in corrispondenza dei due stabilimenti termali di Termini Imerese ed hanno una portata media complessiva di circa 10-15 l/s.

Le portate di queste due emergenze termali hanno manifestato fenomeni di incremento in occasione di eventi sismici avvenuti in epoche storiche; emblematico, a tal proposito, è quello relativo al sisma del 5 marzo 1823 che interessò particolarmente l'area di Barcellona Pozzo di Gotto e di Naso, ma fu avvertito sino a Palermo (Guidoboni *et al.*, 2003). A Termini Imerese, il terremoto determinò un incremento della temperatura delle acque termali (47,5 °C) ed una caratteristica colorazione rossiccia, fenomeni questi che perdurarono per due giorni (Ciofalo, 1924). Nei giorni successivi al sisma, alle terme si misurarono portate di gran lunga superiori rispetto a quelle precedenti l'evento e, in seguito, gradatamente si attestarono sui valori paragonabili a quelli pre-sisma.

Fenomeni di decremento delle portate sono invece documentati a seguito del sisma del 1968 (portata attestata attorno ai 5 l/s) e la comparsa

di una scaturigine termale all'interno della vecchia galleria ferroviaria (Contino *et al.*, 2004).

Un certo abbassamento della falda termale si ebbe alla fine del XX secolo a seguito dei lavori di fondazione del bacino di carenaggio *Colombo* sito sul litorale che, tagliando per intero i depositi costieri olocenici sino alle sottostanti argille del Flysch Numidico, intercettarono le acque calde, tanto che furono installate delle pompe idrovore che rimasero in funzione giorno e notte sino al compimento delle opere. Per ovviare al fenomeno, furono eseguite delle indagini geognostiche all'interno dell'edificio dei Bagni Nuovi, e la sorgente fu captata tramite un pozzo tuttora in esercizio. Successivamente, con la dismissione del bacino *Colombo* e l'ampliamento dell'area portuale si è avuta una certa risalita del livello piezometrico.

Le due emergenze termominerali scaturiscono sul fianco sud-orientale della Rocca del Castello di Termini, una struttura bordata da faglie, prevalentemente dirette, che la ribassano verso sud, verso est, e verso ovest. Le due sorgenti sono legate al "lineamento delle Terme" (Contino, 2005), una faglia diretta con andamento NE-SO che ribassa la struttura della Rocca del Castello permettendo l'esposizione di una parte della sezione naturale.

1.1.1 Assetto geologico ed idrogeologico

L'area investigata, rientra nell'ambito dei Monti di Trabia-Termini Imerese, naturale zona di raccordo tra i Monti di Palermo e di Bagheria ad O e le Madonie ad E. I Monti di Termini Imerese risultano costituiti da successioni silicoclastiche appartenenti a domini paleogeografici mesozoico-paleogenici, nonché da depositi marini clastici pleistocenici e da depositi continentali pleistocenici ed olocenici. In tale segmento affiorano unità idrostrutturali embricate costituite da rocce mesozoiche carbonatiche e carbonatico - silicoclastiche, derivanti dalla deformazione miocenica dei domini Imerese (e relative coperture terrigene) e Sicilide. Questi terreni sono, a loro volta, ricoperti,

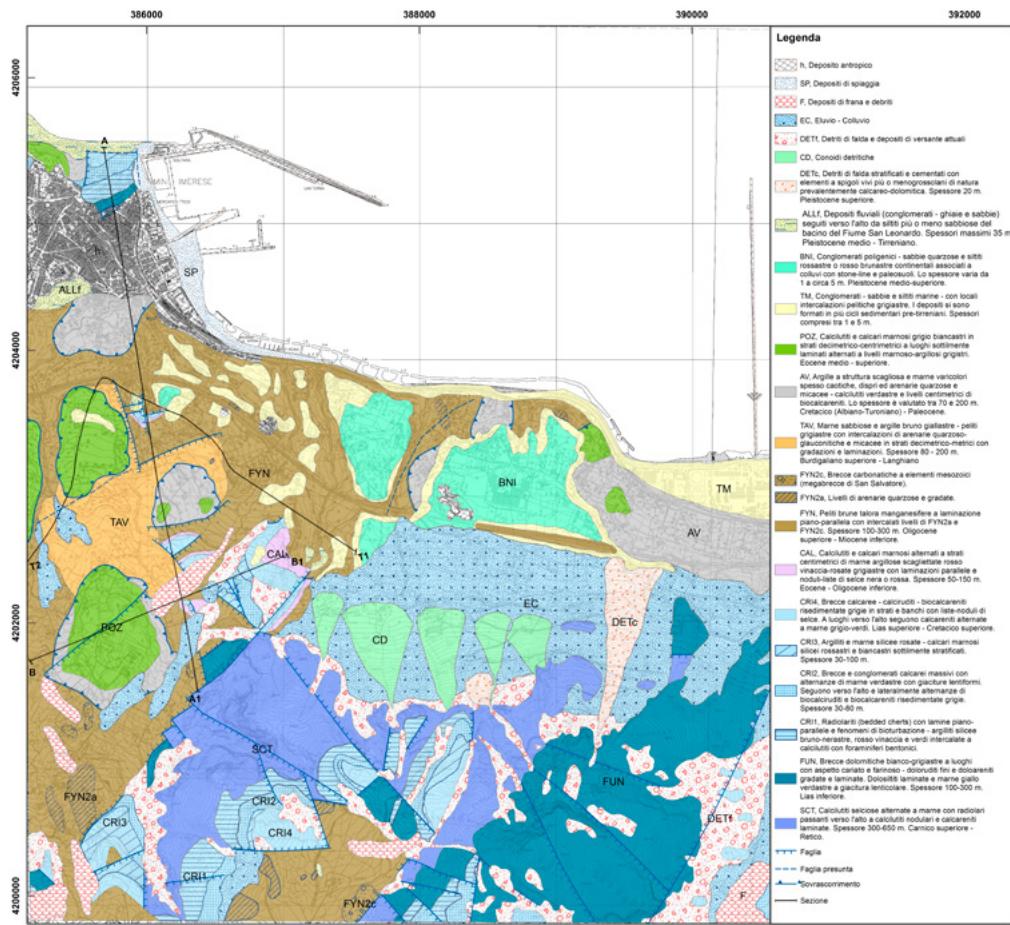


Figura 2.
Carta geologica di
dettaglio dell'area di
studio

soprattutto verso sud da depositi terrigeni sintettonici deformati di età miopliocenica e, soprattutto nel settore costiero settentrionale, da depositi pleistocenici ed olocenici (*Figura 2 e Allegati 1-3*).

Le unità Imeresi e Sicilidi furono messe in posto da una fase tettonica compressiva, databile al Miocene inferiore - medio, caratterizzata da pieghe ad andamento NO-SE e vergenza a SO. Una seconda fase plicativa traspressiva, databile al Pliocene medio-superiore, ha generato una serie di pieghe con andamento NE-SO, localmente ruotanti ad OSO-ENE, che hanno riorientato e rideformato il sistema più antico, producendo sistemi di faglia inversa, fuori sequenza, con direzione prevalentemente E-O. L'edificio tettonico è stato ritagliato dalla tettonica distensiva pleistocenica, che ha determinato la creazione di un

articolato sistema di alti e bassi morfologici, con aree in sollevamento ed aree subsidenti, dissezionato da faglie, spesso con componente orizzontale, con andamento E-O (ruotante a NE-SO) ritagliate da un secondo sistema ad andamento N-S. La deposizione dei terreni pleistocenici è stata controllata sia dai sistemi di faglia transtensivi, sia dalle variazioni eustatiche del livello marino nonché dal progressivo sollevamento regionale dell'area.

Il rilevamento geologico e geologico-strutturale ha permesso di dettagliare maggiormente la geologia dell'area rispetto alla cartografia edita recentemente alla scala 1:50.000 nell'ambito del progetto CARG (Catalano *et al.*, 2011). Emblematico è il caso del settore circostante la sorgente ipotermale di Favara ($T=22^{\circ}-23^{\circ}\text{C}$, estinta),

ubicato a S dell'abitato di Termini Imerese, il cui rilievo geologico di dettaglio ha permesso di riconoscere il fianco meridionale di una struttura antiforme, con netta chiusura periclinale, bordata da due sistemi di faglie dirette. Il primo, con andamento OSO-ENE ribassa progressivamente la struttura verso N, mentre la seconda N-S, lo abbassa verso E ed O. La struttura è interessata anche da piccole faglie inverse i cui piani hanno direzione circa E-O e trasporto tettonico settentrionale. Queste strutture rappresentano delle retrovergenze nei sistemi a *thrust* generalmente a vergenza meridionale, responsabili della messa in posto delle unità Imeresi.

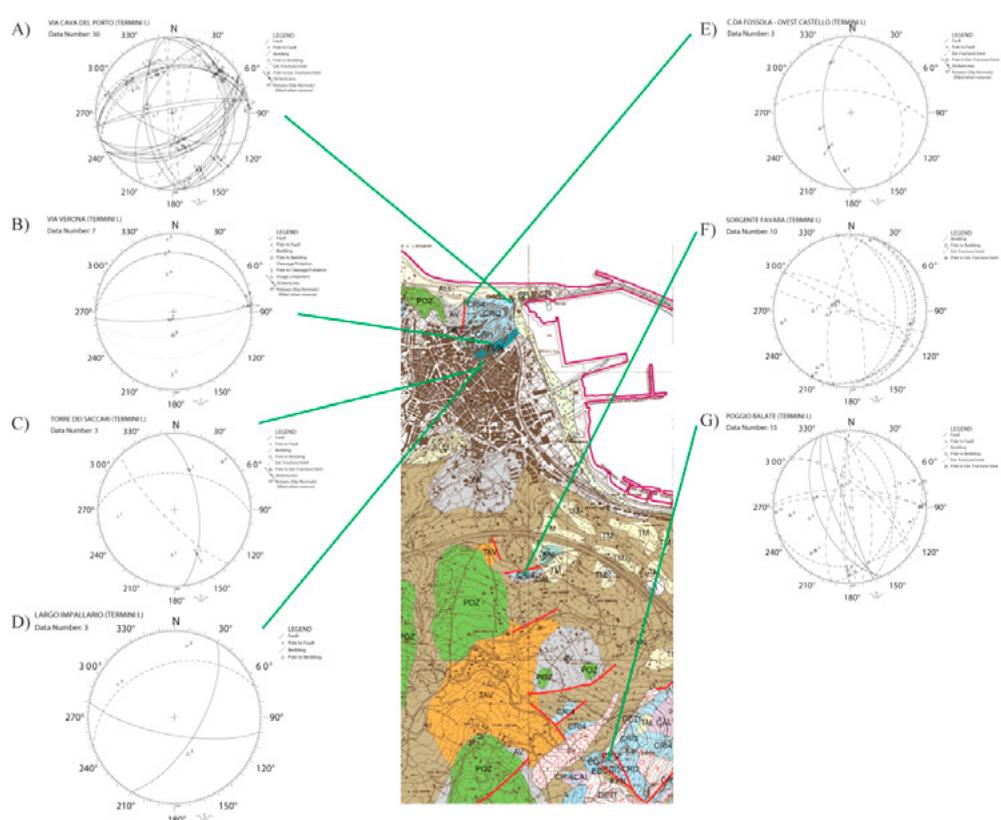
Un altro settore focalizzato è la Rocca del Castello di Termini Imerese, all'interno del centro storico, dove ricadono le sorgenti termali Bagni Vecchi e Nuovi ($T=42^{\circ}$ - 43° C). Il rilevamento geologico in area urbana è risultato spesso

difficoltoso a causa dell'antropizzazione (depositi e strutture antropiche) e della presenza di coperture eluvio-colluviali oloceniche che obliterano o mascherano parte della successione stratigrafica Imerese. Nonostante queste limitazioni è stato possibile effettuare delle stazioni strutturali per: 1) analisi del *bedding*; 2) analisi delle faglie principali e/o piani striati minori (e cinematica relativa) attraverso la misura del *rake* nelle lineazioni e degli indicatori cinematici (Figura 3 e Allegato 4).

Nel complesso, viene confermato il modello proposto da Contino (2005) che vede nella Rocca del Castello di Termini Imerese una struttura ad *horst* bordata ad oriente, occidente e meridione, da faglie, con movimento da diretto a transtensivo, sia sinistro che destro, alcune delle quali a gradinata, che la ribassano progressivamente.

Sono state eseguite ulteriori indagini geologico-strutturali, secondo il medesimo criterio

Figura 3.
Stazioni strutturali
eseguite nel sito di
Termini Imerese



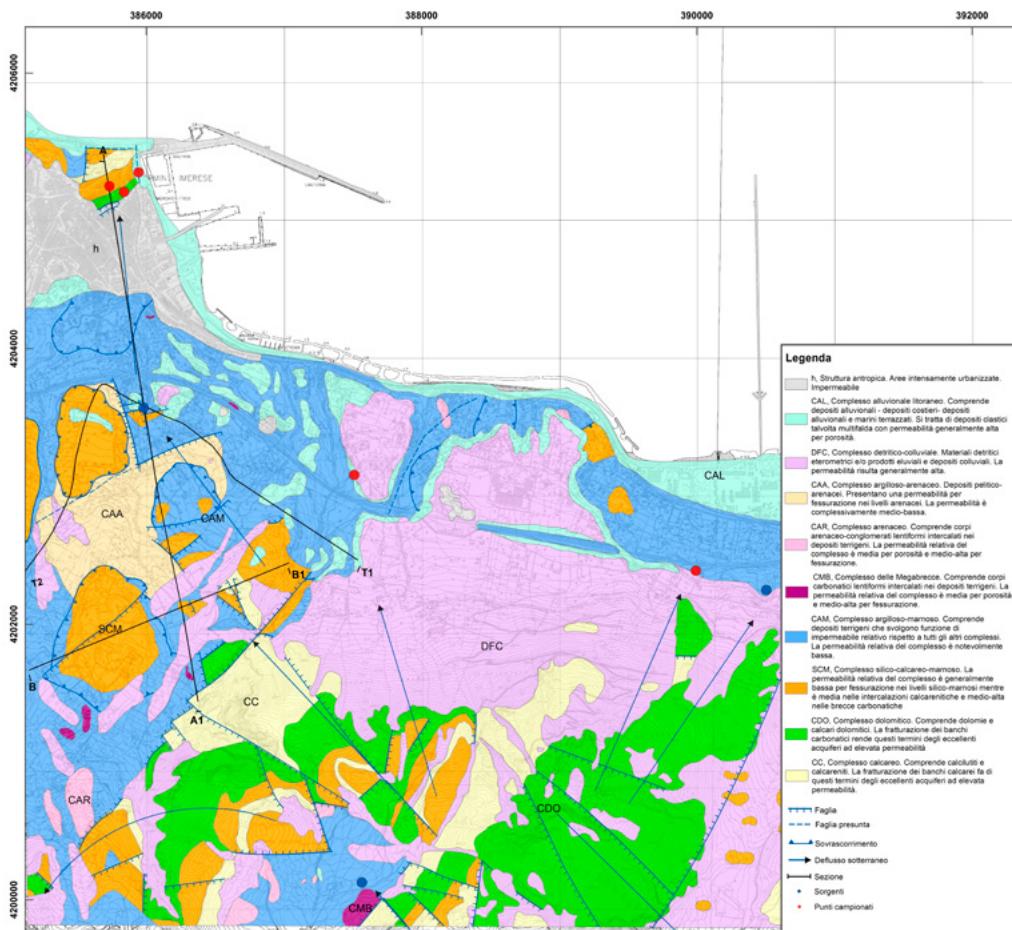


Figura 4.
Carta idrogeologica
di dettaglio dell'area
di studio

adottato nell'abitato di Termini Imerese, anche nelle due strutture della sorgente Favara (già citata) e di Poggio Balate (dove sono presenti faglie e diaclasi, più o meno beanti, ad andamento N-S riempite di mineralizzazioni a quarzo, caolino, barite e fluorite).

Nell'area investigata sono state ricostruite le successioni litostratigrafiche affioranti e, laddove l'esposizione l'ha permesso, si sono effettuati dei campionamenti di porzioni seriali applicando i metodi di analisi delle facies. Il rilievo geologico di superficie è stato integrato dall'analisi dei dati del sottosuolo disponibili, relativi a indagini geognostiche per opere pubbliche e private.

L'area di studio comprende distinte unità idrostrutturali (a loro volta suddivise in singole idrostrutture) costituenti l'edificio dei Monti di

Termini Imerese-Trabia. Il deflusso idrico sotterraneo investe diverse idrostrutture i cui rapporti geometrici ed idraulici in parte sono stati individuati nelle porzioni affioranti, mentre per le strutture sepolte la loro definizione risulta più problematica (*Figura 4 e Allegati 5-6*).

Le principali idrostrutture (Contino *et al.*, 2004) presenti nei Monti di Termini Imerese e di Trabia (dal basso verso l'alto) sono:

- *Unità Idrostrutturali derivanti dalla deformazione dei terreni del Bacino Imerese:*
 - Pizzo di Cane - Monte S. Calogero;
 - Monte S. Onofrio - Monte Rotondo;
 - Rosamarina - Monte Pileri;
 - Capo Grosso - Torre Colonna.
- *Unità derivanti dalla deformazione dei terreni del Domino Sicilide:* le unità Sicilidi, sono ridotte a lembi

o placche isolate sovrascorse sulle coperture impermeabili numidiche, che si preservano generalmente in corrispondenza dei bassi morfostrutturali. Questi terreni rivestono un ruolo idrogeologico generalmente modesto.

Nello specifico, l'area di studio rientra nel settore orientale dell'unità idrostrutturale di Pizzo di Cane – Monte S. Calogero, comprendendo parte dell'idrostruttura di Monte S. Calogero. Si ritiene che l'alto morfostrutturale di Monte S. Calogero, costituito prevalentemente da rocce calcareo-dolomitiche permeabili per fratturazione e/o carsismo, rappresenti la principale area di ricarica degli acquiferi presenti nell'area di studio (*Allegato 7*).

L'idrostruttura è ritagliata nel fianco nord-occidentale da una serie di faglie dirette che danno vita ad un susseguirsi di alti e bassi morfostrutturali. I principali alti morfostrutturali sono quelli di Poggio Balate, il rilievo della sorgente Favara e la Rocca del Castello di Termini Imerese. Alcuni di questi alti (Favara e Termini Imerese) sono sede di manifestazioni idrotermali superficiali a bassa entalpia, generalmente legate a sistemi di faglie che fungono da vie preferenziali per la risalita delle acque calde, mentre nelle aree strutturalmente depresse le coperture impermeabili sigillano i fluidi termali presenti nei serbatoi. Gli acquiferi carbonatici del Monte S. Calogero si estendono nel sottosuolo, al di sotto delle coperture prevalentemente argillose, sino all'emergenza della Rocca del Castello di Termini, dove si hanno le principali manifestazioni idrotermali dell'area con temperature massime di 43- 44 °C.

Previa analisi ragionata dei dati bibliografici acquisiti è stato eseguito un accurato rilevamento idrogeologico sul campo che ha permesso di individuare e censire i punti d'acqua (sorgenti e pozzi) significativi, soprattutto da un punto di vista geotermico, presenti nell'area di dettaglio nonché nel settore collinare e montano sito immediatamente a

S (quest'ultimo in gran parte ricadente nel territorio comunale di Caccamo). Ove disponibili, sono stati acquisiti dati bibliografici relativi alla portata, al chimismo e alla temperatura delle emergenze. Per i pozzi idrici, ove disponibile, è stata acquisita e interpretata la stratigrafia dei terreni attraversati.

Problemi logistici sono stati incontrati soprattutto riguardo l'accesso ad alcuni punti d'acqua che rivestono una certa importanza per acquisire dati di temperatura e chimismo. Alcuni di essi permangono tuttora (ad es. per il pozzo termale Ponte Sicilia nel territorio di Termini Imerese che rimane totalmente inaccessibile), mentre altri sono stati risolti grazie al supporto tecnico e logistico dell'ufficio tecnico del comune di Termini Imerese o della collaborazione offerta da colleghi professionisti che operano nel territorio. Maggiori problemi di accessibilità si sono avuti nel territorio del comune di Caccamo sia per la diffidenza dei proprietari, sia per l'inaccessibilità materiale delle opere di captazione.

1.1.2 Indagini geochimiche

I dati disponibili di carattere geochimico sono esclusivamente riferiti alle emergenze termali dei Bagni di Termini Imerese (Alaimo *et al.*, 1987 e 1990; Alaimo & Censi, 1983; Caracausi *et al.*, 2005). In particolare, dalla bibliografia risulta che le scaturigini hanno concentrazione di CO₂ libera non superiore a 100 ppm, una conducibilità elettrica di 14.500 µS/cm (20 °C) circa, una durezza totale pari a 2.800 mg/l circa, un contenuto in cloruri attorno a 8.000 mg/l, un contenuto in sulfati di circa 1.060 mg/l, un contenuto in sodio di circa 4.500 mg/l ed una temperatura media compresa tra 40 e 43 °C.

Il confronto fra le composizioni chimiche percentuali dell'acqua marina e quelle termali, indica che le sorgenti dello stabilimento termale di Termini Imerese sono il prodotto di un mescolamento tra l'acqua di mare e l'acqua meteorica in rapporto di circa 1:1,5 (Alaimo *et al.*, 1987 e 1990).

Al fine di aggiornare ed integrare i dati relativi alla caratterizzazione idrogeochimica dell'area di indagine, è stata effettuata una campagna per il campionamento di punti d'acqua (pozzi e sorgenti) ritenuti significativi, sui quali eseguire le opportune analisi di laboratorio.

La scelta tra i punti d'acqua censiti è stata operata in funzione del loro termalismo, delle idrostrutture di appartenenza e tenendo conto anche della loro accessibilità. Nell'area di studio sono stati campionati 12 punti d'acqua.

Le analisi chimiche effettuate nell'ambito del progetto VIGOR (*Tabella 1*) risultano in buon accordo con i dati pregressi soprattutto in relazione alle Terme di Termini Imerese.

1.1.3 Indagini geofisiche

Studi geofisici di dettaglio pertinenti l'area d'indagine non erano sinora noti in bibliografia. La proposta preliminare di fattibilità degli stendimenti sia elettrici che sismici da attuarsi nell'area d'indagine, basata su un'analisi ragionata delle conoscenze geologiche e idrogeologiche acquisite, è stata verificata sul campo con i colleghi geofisici del CNR e dell'INGV. I tracciati sono stati modificati e affinati più volte tramite ulteriori verifiche sul terreno, con percorsi alternativi. I problemi

relativi all'accesso ai terreni da attraversare con gli stendimenti, sono stati in gran parte superati grazie al supporto logistico fornito dai tecnici del comune di Termini Imerese che hanno ottenuto l'accesso da parte dei proprietari dei terreni.

Nello specifico sono state effettuate due campagne geofisiche (*Allegato 8*):

- Acquisizione tomografie elettriche (n. 6 profili) con i colleghi dell'Hydrogeosite Laboratory dell'IMAA- CNR, Polo di Marsico Nuovo (13-14 marzo 2012).
- Acquisizione dati sismici mediante sorgente Minivib (n. 2 profili) con i colleghi dell'IAMC-CNR, AMRA S.c.a.r.l. ed INGV-Osservatorio Vesuviano (3-6 maggio 2012).

1.1.4 Modello concettuale

Il modello geologico dell'area, interpretato con i dati oggi disponibili, prevede l'esistenza di una pila di unità tettoniche sovrapposte, messesi in posto durante il Miocene, che costituiscono un segmento dell'edificio strutturale dei Monti di Termini Imerese-Trabia. Queste unità, successivamente alla loro messa in posto, sono state dislocate dalla tettonica pliocenica e quaternaria in una serie di alti e bassi morfologici. Negli alti morfostrutturali sono esposte, in parte o nella loro interezza,

Tabella 1.
Selezione dei principali dati geochimici forniti dal progetto e utilizzati per la caratterizzazione geochimica delle acque di Termini Imerese e Caccamo (P=pozzo; S=sorgente)

ID	LOCALITA'	Tipo	T°C	pH	TDS mg/l	d ¹⁸ O	δD	d ¹³ C DIC	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	SiO ₂ mg/l	Br mg/l	F mg/l	Sr mg/l
TI1	Termini Imerese (p.zo nuovo)	P	38,4	6,73	14807	-4,0	-26,0	-1,7	547	341	4416	156,5	304	7972	1057	12,68	28,7	3,0	5,6
TI2	Termini Imerese (p.zo vecchio)	P	42,4	6,68	15169	-3,9	-26,5	-1,5	551	356	4498	162,6	305	8206	1076	13,35	32,8	3,0	5,5
TI3	Termini Imerese	P	13,3	7,36	686	-6,2	-36,9	-7,7	93,0	25,1	49,4	5,8	392	64,5	50,2	5,68	0,2	2,1	0,6
TI4	Termini Imerese	S	18,6	7,66	442	-7,6	-47,3	-10,8	49,7	27,5	20,5	1,9	281	25,5	31,0	4,96	1,0	0,9	0,3
TI5	Termini Imerese	P	20,6	8,40	623	-7,5	-46,4	-7,7	63,7	26,8	46,3	20,7	347	50,8	56,5	11,02	0,1	0,6	0,3

CA1	Caccamo	P	11,7	7,50	1291	-7,3	-43,0	-10,8	201,1	49,8	120,5	6,8	238	110,2	557,2	7,38	0,2	0,8	0,6
CA2	Caccamo	S	9,8	8,09	428	-5,8	-37,1	-8,9	73,4	10,9	18,5	2,8	240	19,8	59,5	3,02	0,9	0,5	0,4
CA3	Caccamo	S	17,6	7,33	711	-7,2	-45,5	-11,5	148,9	17,0	33,7	5,3	271	76,0	155,4	3,08	0,8	0,3	0,3

successioni del Dominio Imerese calcaree, calcareo-dolomitiche e carbonatico-silicee, mentre nei bassi morfostrutturali affiorano le coperture prevalentemente argillose (Flysch Numidico) e/o i terreni delle Unità Sicilidi (Argille Varicolori e Formazione Polizzi).

Dal punto di vista idrogeologico, i Monti di Trabia-Termini Imerese comprendono diverse unità sovrapposte che costituiscono l'edificio idrostrutturale, la più bassa delle quali è l'unità Monte Cane-Monte San Calogero. L'area in oggetto ricade interamente nell'idrostruttura di Monte San Calogero, che affiora nell'omonimo alto morfo-strutturale, costituito prevalentemente da rocce calcaree e dolomitiche, permeabili per fratturazione e/o carsismo.

L'alto strutturale del Monte San Calogero rappresenta la principale area di ricarica degli acquiferi presenti nell'area di indagine; verso N affiorano una serie di rilievi minori (Poggio Balate, lo sprone della sorgente Favara, la Rocca del Castello di Termini Imerese etc.), che costituiscono la prosecuzione settentrionale dell'idrostruttura del San Calogero.

In base ai dati acquisiti nella fase di prefattibilità si riteneva plausibile che l'idrostruttura di Monte San Calogero continuasse al di sotto delle coperture terrigene sino alla Rocca del Castello di Termini Imerese dove si hanno le principali manifestazioni idrotermali dell'area (con temperature massime di 43°-44 °C) ipotizzando un collegamento idraulico tra i due rilievi attraverso l'antiforme fagliata della sorgente di Favara.

Le risultanze delle analisi dei dati geofisici acquisiti nel corso delle due campagne (geoelettrica e soprattutto sismica) confermano ampiamente il modello precedente. Le strutture affioranti di Termini Imerese, Favara e Poggio Balate (proseguono al di sotto delle coperture terrigene numidiche. L'idrostruttura di Monte San Calogero costituisce l'area di alimentazione dei circuiti

idrici in seno alle unità Imeresi affioranti e sub-affioranti. Non è da escludere un contributo di acque termali legate ad acquiferi profondi in seno alle unità di piattaforma carbonatica, sulle quali poggiano tettonicamente quelle Imeresi, grazie ai sistemi di faglie che fungono da vie di fuga. Per Termini Imerese risulta evidente un ulteriore contributo legato all'infiltrazione di acqua marina come già postulato in bibliografia.

La struttura della Rocca del Castello di Termini, nonché la sua prosecuzione sottomarina (secca ubicata a 1 km dal lido, ed estesa circa 1 km, sulla quale è stato fondato il molo di sopraflutto del porto), presenta diverse emergenze termali a bassa entalpia (Bagni di Termini Imerese, pozzi idrici e numerose sorgenti sottomarine) e alimenta anche la falda idrica libera, ospitata nella piana olocenica (Termini Bassa). La presenza di queste emergenze documenta elevati flussi idrici termali (evidenziati all'interno dell'area portuale anche dalla geoelettrica nel profilo T1), la cui entità complessiva, pur non quantificabile attualmente (sarebbe auspicabile una campagna di acquisizione all'infrarosso termico), certamente non può giustificare gli afflussi meteorici sulla struttura o sulle coperture terrigene circostanti. Ne consegue che l'origine delle acque che fuoriescono dalla struttura di Termini Imerese è da ricercarsi negli afflussi meteorici ricadenti sulla struttura presenti a SE (Monte S. Calogero e Monti di Caccamo) con i quali deve essere collegata idraulicamente, anche attraverso la piccola antiforme fagliata della sorgente ipotermale Favara (estinta). Tutto ciò risulta in accordo con l'analisi dei dati idrologici, avendosi una buona corrispondenza tra i quantitativi di possibile infiltrazione efficace (detratte le aliquote legate ad altre emergenze che insistono sulle strutture) e i deflussi stimabili della Rocca del Castello. Le stesse considerazioni sulla Rocca di Termini Imerese, valgono ancora di più per l'antiforme fagliata della sorgente Favara da cui fuoriuscivano, nel secolo XVI, portate di quasi 60

l/s, del tutto esorbitanti rispetto alle dimensioni dell'affioramento. La struttura di Favara, del resto, come conferma la sismica, prosegue anche verso SE al di sotto delle coperture terrigene numidiche, in direzione delle pendici del S. Calogero dove sono presenti ulteriori affioramenti carbonatici (il maggiore è quello precipitato di Poggio Balate).

Nell'area di Termini Imerese il modello geologico-strutturale, relativo alla Rocca del Castello, che prevede la presenza di una struttura ad *horst* bordata da faglie che la ribassano progressivamente soprattutto a E ed a S, risulta in ottimo accordo con l'interpretazione dei dati geoelettrici da parte dei colleghi dell'IMAA. Infatti, il profilo T1, realizzato a tergo delle opere portuali (Lungomare Cristoforo Colombo), ha evidenziato la presenza di diverse strutture tettoniche distensive, evidentemente prosecuzione di quelle affioranti, che si ribassano progressivamente a gradinata verso il mare. Lo stile strutturale del settore della sorgente Favara, ottenuto con i dati di superficie, risulta in buon accordo con l'interpretazione dei profili sismici (sia in versione *stack* che migrata) forniti dai colleghi geofisici. I rilievi geologico-strutturali di superficie evidenziano, infatti, la presenza di modeste strutture inverse retrovergenti, e ciò risulta in accordo con la sismica che evidenzia la presenza in profondità di *backthrusts* ritagliati da faglie dirette. Queste ultime, legate alla successiva tettonica distensiva, sono state ampiamente riconosciute sul terreno grazie all'accurato rilevamento geologico-strutturale.

1.1.5 Il sondaggio geognostico esplorativo

Dall'analisi complessiva dei dati acquisiti (geologico-strutturali, idrogeologici e geofisici), si è proceduto alla scelta del sito ritenuto più idoneo dove ubicare il sondaggio esplorativo per la ricerca di acque termali a bassa entalpia.

Il sito investigato (*Allegato 9*) è stato ubicato a ridosso della provinciale Termini-Caccamo, ed a SE della sorgente ipotermale di Favara

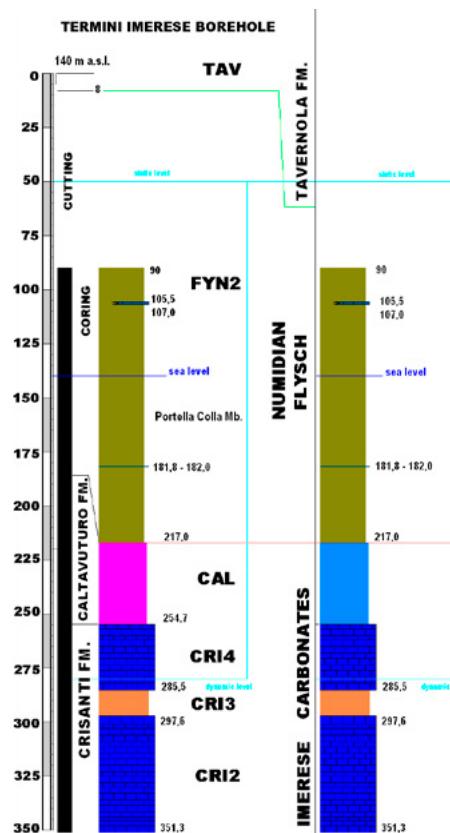


Figura 5.
Schema stratigrafico/ idrostratigrafico relativo al sondaggio esplorativo profondo di Termini Imerese

Multilayer Aquifers
Aquichudes

(attualmente estinta e che esibiva temperature massime attorno ai 22°-23 °C).

Nel campo geotermico di Termini Imerese, in assoluto, è stata questa la prima indagine geognostica finalizzata alla ricerca di fluidi termali a bassa entalpia. La falda idrica idrotermale, infatti, è stata casualmente intercettata in alcuni sondaggi geognostici effettuati per altri scopi (indagini per opere pubbliche o per ricerche idriche) che non si sono giammai spinti ad una profondità superiore ai 100 m circa.

Il sondaggio geognostico ha raggiunto la profondità di 351,30 metri e intercettato, sepolta al di sotto delle coperture terrigene numidiche, la prosecuzione orientale della struttura antiforme affiorante che alimentava la sorgente Favara e la falda idrica a bassa entalpia (22 °C), è stata riscontrata quasi alla base del membro carbonatico delle *brecce a Rudiste* (CRI4 in *Figura 5*), in

seno all'acquifero superiore del multifalda della Formazione Crisanti *Auct.* La risorsa intercettata è, con tutta probabilità da ricollegare con la sorgente Favara di Termini Imerese, divenuta fortemente irregolare dopo il sisma del 1693 e che il 23.09.1930 esibiva una portata di 36 l/s ed una temperatura misurata all'opera di presa di 20 °C. La sorgente ebbe un calo ulteriore di portata dopo il sisma del 1968, tanto che il comune di Termini Imerese tentò invano con un'apposita campagna, affidata alla società SIPAC di Roma, di indagini geognostiche dirette ed indirette di captarla. La risorsa intercettata nella parte superiore dell'acquifero multifalda della Fm. Crisanti è, quindi, particolarmente importante per la comunità di Termini Imerese, eventualmente anche ai fini idropotabili. Una ulteriore falda idrotermale è presumibile che sia intercettabile alla base (non raggiunta a fondo foro) dell'acquifero multifalda della Fm. Crisanti (*brecce ad Ellipsactinia*). Il serbatoio geotermico principale, che alle terme di Termini Imerese esibisce temperature di 42°-43 °C e portate medie di 10 l/s, va invece collocato, alla luce delle risultanze del sondaggio geognostico profondo VIGOR, ad una profondità stimabile attorno ai 400-450 m, in corrispondenza dell'acquifero calcareo-dolomitico in seno alle Formazioni Fanusi e Scillato.

I dati raccolti ed elaborati (**Appendice 1** e *Allegato 10*) relativamente al sondaggio geognostico VIGOR hanno evidenziato:

- Un elevato spessore dei corpi carbonatici (appartenenti al complesso calcareo) che ospitano gli acquiferi multifalda della Fm. Crisanti, rispetto agli affioramenti circostanti, legato alle geometrie deposizionali (corpi di materiale clastico carbonatico canalizzato) ed ai contatti erosivi con i terreni sottostanti. A queste caratteristiche, squisitamente deposizionali, si somma l'effetto legato alla pendenza degli strati intercettati dal sondaggio geognostico profondo VIGOR, effettuato su un fianco di una struttura antiforme.

• I due corpi carbonatici che ospitano il multifalda della Formazione Crisanti, esibiscono falde idriche in rete di fratture, a bassa entalpia, verosimilmente soggette a mescolamento con acque superficiali fredde. Il corpo carbonatico superiore (*Brecce a Rudiste*, affioranti rispettivamente presso la sorgente Favara e nel vicino Poggio Balate), infatti, esibisce acque di falda a temperature di circa 22 °C (la presenza della sorgente Favara, indirettamente mostra che la resa può essere elevata, almeno di circa 30 l/s). E' ipotizzabile che il sottostante corpo carbonatico inferiore (*brecce ad Ellipsactinia*) possa esibire falde idriche con temperature maggiori rispetto a quello superiore.

• Il serbatoio vero e proprio, costituito dai calcari con selce (Formazione Scillato, complesso calcareo s.s.) e dalle dolomie (Formazione Fanusi, complesso dolomitico), confinato superiormente dai corpi silicei (complesso silico-calcareo-marnoso, acquiclude e/o acquitarde) e carbonatici (acquifero multifalda) della Formazione Crisanti, deve essere collocato ad una profondità di circa 400-450 m dal p.c., quindi, a circa 100 m di profondità al di sotto del fondo foro del sondaggio geognostico profondo VIGOR. Eventuali ulteriori indagini dirette per finalità geotermiche dovranno tenere conto di tali indicazioni, emerse a seguito di tale sondaggio. Le portate attese dal serbatoio vero e proprio, allo stato attuale delle ricerche sono soltanto ipotizzabili. A Termini Imerese, la portata media delle scaturigini termali è di 10 l/s, anche se sono noti picchi elevati, in occasione di eventi sismici. L'incognita maggiore è data dalle perdite in mare che potrebbero essere quantificabili soltanto attraverso un'apposita campagna di indagine con tecnologie all'infrarosso termico.

Descrizione della risorsa

Dalle misure eseguite nel corso del sondaggio, si ricava che durante le prove geofisiche il livello di

falda nel foro di sondaggio è stato rilevato alla profondità di circa -63,22 m dal p.c. Successivamente, tale livello si è attestato a circa -50 m dal p.c.

Dai *logs* si ricava la probabile zona dalla quale si ha l'afflusso dell'acqua di falda in rete di frattura, che si colloca a circa -280/-285 m dal p. c. La temperatura dell'acqua di falda (circa 22 °C) è confrontabile con quella della sorgente Favara. Alla luce delle risultanze del sondaggio geognostico profondo VIGOR, il serbatoio principale, che esibisce temperature di 42-43 °C (temperatura sulla quale è stata studiata la proposta impiantistica) si trova ad una profondità maggiore rispetto a quella stimata da modello concettuale, intorno ai 400-450 m, in corrispondenza dell'acquifero calcareo-dolomitico in seno alla Formazione Fanusi. Ciò non comporta una modifica della proposta impiantistica progettata per il sito di Termini Imerese, che risulta valida, ma va considerato un aumento del costo e del tempo di ritorno dell'investimento dovuto all'approfondimento del pozzo di ulteriori 100-150 metri rispetto alla profondità raggiunta dal sondaggio (351,30 m) per intercettare la falda più calda individuata per il funzionamento dell'impianto.

1.2 Proposta tipologia di utilizzo

Il presente studio di fattibilità tecnico-economica si riferisce ad un'applicazione per l'utilizzo della risorsa geotermica a bassa entalpia per compiere i processi evaporativi in un impianto di dissalazione.

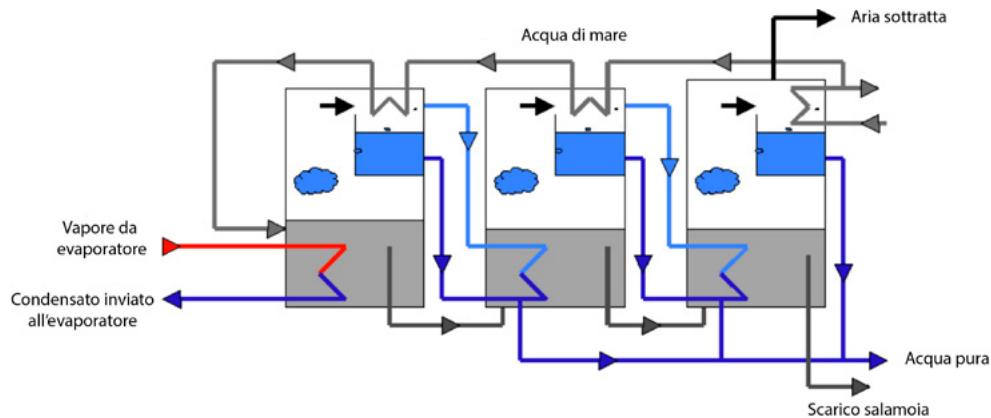
Due sono i processi evaporativi per la dissalazione di acqua di mare più diffusi:

- il processo di evaporazione ad espansioni multiple o flash multistadio (MSF, *Multi Stage Flash distillation*) frequentemente utilizzato per la sua semplicità (circa il 70% di tutta l'acqua dissalata al mondo è prodotta da tale processo), che prevede una serie di camere chiuse, chiamate stadi, in ognuno dei quali è presente uno scambiatore di calore ed un collettore di condensazione. Gli stadi si trovano a temperature

diverse tra loro e a sua volta ogni stadio si trova ad una pressione di lavoro decrescente che corrisponde alla temperatura di ebollizione dell'acqua che circola all'interno di esso. In condizioni operative di regime, l'acqua di mare è inviata al primo stadio freddo e l'acqua fluisce attraverso i vari scambiatori di calore di ogni stadio. Man mano che l'acqua fluisce da uno stadio all'altro, lo scambiatore di calore riscalda l'acqua circolante. Quando l'acqua raggiunge l'ultimo stadio è inviata alla pompa di calore/riscaldatore che la riscalda ulteriormente. A questo punto l'acqua surriscaldata entra agli stadi successivi tramite opportune valvole. Quindi l'acqua entrante evapora e poiché la sua temperatura è più calda dello stadio cede quantità di calore allo scambiatore di calore e condensa producendo acqua distillata. L'evaporazione totale in ogni stadio è circa il 15% dell'acqua che fluisce attraverso i tubi e la temperatura di funzionamento dei vari stadi varia tra 100-120 °C.

- il processo di evaporazione a multipli effetti (MED, *Multi Effect Distillation*) produce il 10% della capacità di acqua dissalata al mondo, ma è il più utilizzato per l'alimentazione con fonti energetiche rinnovabili. La caratteristica principale del MED è, che operando a temperature più basse rispetto al MSF, minimizza i problemi di corrosione ed incrostazione. Il MED, utilizza una serie di recipienti (effetti) che, operando sul principio della condensazione ed evaporazione a pressioni sempre più basse, utilizza il vapore proveniente dall'effetto precedente. Il condensatore finale, collocato nella parte finale del processo, svolge la funzione di condensare il vapore e preriscaldare l'acqua di mare di alimentazione. Ogni stadio si trova ad una temperatura e pressione inferiore rispetto a quello precedente ed i tubi di collegamento presentano una temperatura intermedia tra gli stadi successivi (*Figura 6*). La temperatura operativa di

Figura 6.
Schema di funzionamento di un sistema di dissalazione MED



funzionamento del processo MED è di circa 70 °C ed il suo consumo di energia per ogni m³ di acqua distillata prodotta è inferiore rispetto al sistema MSF descritto precedentemente.

In questo studio analizzeremo un impianto geotermico che alimenta un processo evaporativo di tipo MED ed andremo a sviluppare un progetto impiantistico tipo in modo da evidenziare la convenienza economica dell'impianto.

Il processo MED è quello che a parità di m³ di acqua distillata prodotta, ha bisogno di minore energia termica per funzionare correttamente. La proposta impiantistica alla base del presente studio prevede di utilizzare acqua geotermica alla temperatura di 40 °C per alimentare una pompa di calore per la produzione di energia termica sottoforma di acqua calda a 80 °C necessaria per compiere i processi evaporativi nell'impianto di dissalazione. Inoltre, ad integrazione del calore recuperato dalla geotermia, si prevede di utilizzare anche la quota di acqua di mare non distillata in uscita dall'impianto di dissalazione per alimentare anch'essa la pompa di calore. Infatti, nei processi di dissalazione dell'acqua di mare, per evitare una concentrazione troppo elevata di sali disciolti nelle celle di evaporazione, il dissalatore necessita di un flusso di acqua di mare elevato rispetto alla produzione di distillato.

Pertanto, la pompa di calore recupererà l'energia termica contenuta nel fluido geotermico a circa 40 °C e l'energia termica contenuta nell'acqua di mare non distillata in uscita dal dissalatore a circa 36 °C che comunque dovrebbe essere raffreddata per la reimmissione nel bacino idrico di provenienza, con conseguente dispersione dell'energia termica.

1.2.1 Caratteristica della risorsa geotermica e del suo utilizzo

La proposta impiantistica prevede di sfruttare la seguente risorsa geotermica:

- Profondità pozzo: entro 400 m
- Portata acqua geotermica: 18 l/s
- Temperatura acqua geotermica in/out: 40/20 °C
- Potenza termica recuperata: 1.500 kW

1.2.2 Caratteristica dell'acqua di mare e del suo utilizzo

Ad integrazione dell'utilizzo della risorsa geotermica si prevede di impiegare anche l'acqua di mare in uscita dall'impianto di dissalazione che avrà le seguenti caratteristiche:

- Portata acqua di mare min/max: 180/430 t/h
- Temperatura media dell'acqua di mare all'ingresso dell'evaporatore della pompa di calore: 35,9 °C. ■

2. Descrizione progettuale

2.1 Condizioni ambientali di riferimento

Le condizioni ambientali di riferimento per la progettazione dell'impianto sono le seguenti:

- quota di installazione: < 10 m slm
- temperatura ambiente, min/max: -5/+40 °C
- umidità relativa : 60 %

2.2 Dati progettuali

I dati di progetto sono i seguenti:

- Produzione acqua distillata: 90 t/h
- Potenza termica da introdurre nel processo di dissalazione sottoforma di acqua calda:
8.720 kW
- Temperature di esercizio circuito acqua calda:
mandata 80 °C, ritorno 75 °C
- Ore annue di esercizio previste: 8.000 h/anno

I limiti di batteria includono interamente il nuovo impianto proposto.

2.3 Schema di impianto

L'impianto sarà essenzialmente costituito da:

- Dissalatore a multiplo effetto per la produzione di 90 t/h di acqua distillata
- Centrale termica a pompa di calore da 8.720 kW per la produzione di acqua calda a 80 °C
- Opere di presa e scarico acqua di mare
- Realizzazione circuito geotermico
- Strumentazione di regolazione e controllo
- Accessori vari a completamento dell'impianto
- Opere civili (fondazioni, solette, etc.).

2.3.1 Caratteristiche tecniche del Dissalatore a Multiplo Effetto

L'impianto di dissalazione sarà di costruzione Officine Reggiane – Demont o similare. Il principio utilizzato è piuttosto semplice: quando una soluzione salina è portata al suo punto di ebollizione, si formano vapori privi di contenuto salino; questi vapori vengono poi condensati su una superficie fredda per l'ottenimento del distillato. La soluzione rimasta, ovvero la porzione non evaporata, presenta una maggiore salinità della soluzione di partenza (salamoia).

Il procedimento MED si basa sul fatto che l'acqua bolle a temperature progressivamente inferiori quando è soggetta a pressioni più basse.

Il processo principale si svolge all'interno dell'e-vaporatore che è il componente più importante di un impianto MED. L'e-vaporatore dell'impianto MED previsto è del tipo a tubi orizzontali, con 9 effetti o celle disposti in serie. All'interno dell'e-vaporatore viene prodotta una quantità di distillato proporzionale alla quantità di vapore a bassa temperatura in entrata, in nove fasi ripetitive di evaporazione e condensazione, ognuna a temperatura e pressione inferiore rispetto alla precedente.

La maggior parte di distillato è prodotta dall'e-vaporazione dell'acqua di reintegro.

In ogni cella viene introdotta la giusta quantità di acqua di reintegro ed essa viene distribuita da un sistema ad ugelli spray sopra la fila superiore dei tubi orizzontali della cella. L'acqua di alimentazione fluisce in sottili film cadendo sopra ogni gruppo di tubi e parte di essa evapora dato che assorbe il calore latente rilasciato dal vapore che condensa all'interno dei tubi.

Un'altra piccola ma non irrilevante quantità di vapore è rilasciata dall'evaporazione della salamoia proveniente dall'effetto precedente, operante ad una pressione più alta, che entra nel sistema attraverso una tubazione di raccordo.

Tutto il vapore prodotto attraversa un separatore liquido-vapore (demister) che separa dal vapore le gocce di acqua salmastra trascinate in modo da aumentare la purezza del distillato finale.

Dopo avere attraversato il separatore, il vapore entra nel fascio di tubi dove la condensazione avviene tramite il raffreddamento dovuto all'acqua di reintegro spruzzata all'esterno dei tubi. Dal punto di vista della condensazione, il fascio tubiero è diviso in due sezioni:

- Prima sezione: consiste circa nel 90% dei tubi nelle celle 1-2, nel 88% nelle celle 3-4, nel 81% nelle celle 5-9; in questa parte del fascio tubiero il vapore è condensato grazie all'acqua

di reintegro prodotta già riscaldata alla temperatura della cella. Alla fine della prima sezione, un serbatoio di raccolta condensa, riceve l'acqua distillata condensata all'interno di ogni tubo.

- Seconda sezione: riguarda i rimanenti tubi, che si trovano nella parte più alta del fascio tubiero; in questa parte il vapore è condensato grazie all'acqua di reintegro che entra nella cella ad una temperatura inferiore a quella della cella stessa. Alla fine della seconda sezione un serbatoio di raccolta condensa, riceve l'acqua distillata condensata all'interno di ogni tubo. Inoltre, i gas non condensabili vengono estratti.

Il vapore di alimento entra nei tubi della prima e più calda cella. Lì si condensa e una quantità quasi equivalente di evaporato si forma. Lo stesso procedimento viene ripetuto in ogni cella. Il vapore dell'ultima cella è condensato nella sezione di rigetto (condensatore di rigetto) tramite l'acqua fredda di mare in ingresso al dissalatore.

La condensa della prima cella viene raccolta e inviata nuovamente al generatore di vapore, che nel nostro caso è costituito da un serbatoio di evaporazione a bassa pressione (flash vessel), alimentato con acqua calda alla temperatura di 80 °C, prodotta dalla pompa di calore.

L'acqua condensata prodotta nella seconda cella viene trasferita tramite una tubazione di raccordo al serbatoio di raccolta condensa della terza cella, dove è parzialmente raffreddata dall'evaporazione dovuta alla minor pressione della cella e si unisce a quanto prodotto in quella cella. Lo stesso procedimento viene ripetuto in ogni cella seguente. Dalla nona cella l'acqua distillata va nel condensatore di rigetto dove si unisce a tutto il condensato.

Gli aspetti più importanti del procedimento MED sono il trattamento chimico dell'acqua di reintegro, la regolazione del flusso e la distribuzione della stessa.

Il trattamento chimico dell'acqua di reintegro consiste nel dosaggio di additivi anticalcare ed

antischiuma.

Il dosaggio anticalcare previene e ritarda la formazione e il deposito di calcare sulla superficie dei tubi che causerebbero la riduzione di produzione di distillato e aumenterebbero per contro il consumo di vapore. Per ottimizzare il dosaggio anticalcare ed avere una maggiore concentrazione di additivi nell'acqua di reintegro nelle prime e più calde celle, dove l'azione dell'anticalcare deve essere maggiore, il dosaggio avviene in due punti distinti, il primo nel flusso di acqua di reintegro per tutte le celle, il secondo nel flusso di acqua di reintegro per le celle da 1 a 4. Il dosaggio dell'antischiuma inibisce la formazione di schiuma nella celle che causerebbe una riduzione di purezza del distillato.

Inoltre, per evitare una concentrazione troppo elevata di sali discolti nelle celle di evaporazione, il flusso di acqua di mare di reintegro è più elevato rispetto alla produzione di distillato, circa tre volte superiore.

La distribuzione dell'acqua di mare di reintegro sui tubi tramite ugelli spray, assicura un'uniforme e buona umidificazione degli stessi tubi, evitando zone non sufficientemente bagnate dove il deposito di sali e di calcare sarebbe troppo consistente.

Un altro aspetto essenziale del procedimento MED riguarda il sistema di aerazione.

Siccome l'evaporatore opera sotto vuoto, per mantenere il vuoto, l'aria e i gas devono essere costantemente rimossi. L'aria entra nelle celle tramite infiltrazioni (dalle flangie, bocchette etc.) e dal rilascio dei gas (azoto e ossigeno principalmente) discolti nell'acqua di mare di reintegro.

La decomposizione termica dei bicarbonati discolti nell'acqua di mare comporta anche la produzione di anidride carbonica.

Tutti questi gas possono interferire nel processo di scambio termico riducendo le superfici di trasferimento. Lo scarico dei gas è eseguito da un sistema di ventilazione (eiettori e condensatori) che estrae i gas non condensabili da ogni cella

oltre ai vapori prodotti nella stessa cella. Per recuperarne il calore, la miscela di gas-vapore estratta da ogni cella viene introdotta in quella successiva. Questo procedimento è ripetuto fino al condensatore di rigetto dove i gas sono aspirati dal sistema di ventilazione.

Il distillato in uscita dal dissalatore è sostanzialmente privo di ioni e di gas discolti e ciò comporta che l'acqua può essere utilizzata essenzialmente per uso industriale piuttosto che per uso civile/potabile. Tuttavia, in fase successiva di progetto esecutivo, si potrà prendere in considerazione la possibilità di inserire a valle dell'impianto un sistema di potabilizzazione/re-mineralizzazione dell'acqua. La potabilizzazione dell'acqua farà sì che le caratteristiche dell'acqua dissalata siano tali da rispondere ai parametri di legge tali per cui le acque possano essere destinate al consumo umano.

2.3.2 Caratteristiche tecniche della Pompa di Calore per la produzione di acqua calda a 80 °C

La pompa di calore sarà in grado di recuperare l'energia termica contenuta nell'acqua geotermica a 40 °C e nell'acqua di mare non distillata in uscita dal dissalatore alla temperatura di circa 36 °C per produrre acqua calda alla temperatura di 80 °C; con questa finalità è necessario ricorrere all'utilizzo di unità a pompa di calore con compressore centrifugo di tipo "Tailor made", cioè fabbricata "ad hoc" per la specifica applicazione.

L'impostazione progettuale prevede che vi sia l'interposizione di un circuito chiuso tra i circuiti ad acqua geotermica e ad acqua di mare e la pompa di calore, in modo da evitare di mettere in contatto l'evaporatore con fluidi ad alta salinità. Dal punto di vista costruttivo, ciò ha un impatto anche di tipo progettuale, in particolare sulla scelta dei materiali per l'evaporatore della pompa di calore, per il quale non occorre prevedere materiali speciali caratterizzati da una particolare resistenza. Ciò si traduce in un differente design della pompa di calore per effetto

di questa particolare specificità e anche in una riduzione del costo dell'unità stessa.

Ricorrendo all'interposizione di un circuito intermedio, l'acqua geotermica e l'acqua di mare cedono al circuito l'energia termica richiesta, mediante appositi scambiatori a piastre. Tale fatto comporta una riduzione di circa 3 °C della temperatura di evaporazione del ciclo a pompa di calore, il che si traduce teoricamente in una riduzione comunque del tutto trascurabile del COP (dell'ordine dell'1,5%). Peraltro, il fatto di alimentare l'evaporatore con un circuito chiuso ad acqua, che può essere trattata ad esempio con un addolcitore in modo da garantire al fluido caratteristiche tali da evitare incrostazioni nelle tubazioni dell'evaporatore, permette di migliorare lo scambio termico nell'evaporatore stesso e quindi di recuperare in buona parte, se non addirittura integralmente, la seppur minima riduzione del COP. La pompa di calore, rappresentata nel rendering di *Figura 7*, sarà di produzione Frioetherm (Winterthur, Svizzera) o similare.

I dati salienti di prestazione sono i seguenti:

Stagione	Estate	Inverno
Numero unità	1	1
Sorgente fredda	Acqua addolcita in circuito chiuso	
Potenza termica sottratta alla sorgente fredda	kW	5.814
Temperatura ingresso sorgente fredda	°C	33,8
Temperatura uscita sorgente fredda	°C	12,7
Portata sorgente fredda	t/h	236,6
Sorgente calda	Acqua calda	
Potenza termica fornita alla sorgente calda	kW	8.721
Temperatura ingresso sorgente calda	°C	75
Temperatura uscita sorgente calda	°C	80
Portata sorgente calda	t/h	1.500
Potenza elettrica assorbita	kW	2.907
COP		3,0

2.4 Bilancio di massa ed energia

Il bilancio di massa ed energia per la soluzione impiantistica proposta è riportata nell'*Allegato 11*, in cui vengono mostrate le modalità di funzionamento estivo ed invernale.

2.5 Schema di flusso concettuale dell'impianto

Gli schemi di flusso concettuali dell'impianto sono riportati nei seguenti elaborati grafici:

Allegato 12 – Schema di flusso concettuale dell'impianto di dissalazione: l'acqua di mare arriva all'unità di dissalazione tramite una stazione di pompaggio, con pompe a portata costante. La porzione di portata non utilizzata dall'impianto viene poi scaricata e, prima di essere restituita a mare, alimenta l'evaporatore della pompa di calore per la produzione di acqua calda necessaria per i processi evaporativi dell'impianto.

L'acqua di mare in ingresso all'impianto di dissalazione, entra nel condensatore di rigetto, dopo essere stata filtrata tramite un filtro di tipo a cestello.

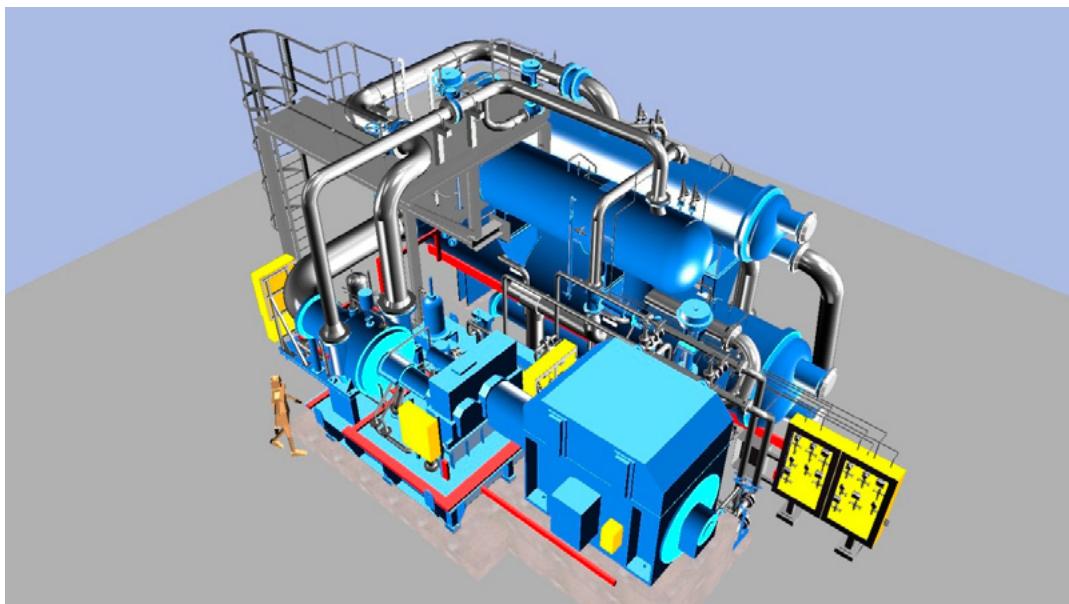


Figura 7.
Rendering della
Pompa di Calore da
8.721 kW

La quantità di acqua di mare in ingresso è controllata tramite una valvola di controllo di scarico regolata in base alla temperatura della salamoia dell'ultima cella.

D'inverno, la temperatura dell'acqua di mare è bassa ma è necessario ottenere una temperatura di approccio minima al condensatore di rigetto. Per raggiungere tale temperatura si scalda l'acqua di mare in entrata al dissalatore con la salamoia in uscita dall'impianto, tramite uno scambiatore di calore a piastre. Allo scarico del condensatore di rigetto, una parte dell'acqua di mare riscaldata è scaricata verso la pompa di calore e poi nel canale di restituzione verso il mare tramite una valvola di controllo mentre la parte rimanente costituisce l'acqua di reintegro dell'impianto.

L'acqua di reintegro viene addittivata con un dosaggio di anticalcare e di antischiuma e viene poi ulteriormente filtrata.

Dopo lo stacco dell'acqua di reintegro della 9^a e 8^a cella dell'evaporatore, il rimanente flusso è scaldata nel primo preriscaldatore dell'acqua di reintegro con una parte del vapore della 7^a cella. Analogamente, dopo gli stacchi dell'acqua di reintegro della 7^a, 6^a e 5^a cella, il rimanente flusso è

anch'esso scaldata nel secondo preriscaldatore dell'acqua di reintegro con una parte del vapore della 4^a cella.

Dopo il secondo dosaggio di anticalcare e lo stacco dell'acqua di reintegro per la 4^a cella, il flusso rimanente è ulteriormente preriscaldato nei condensatori con sistema di estrazione dell'aria. Dopo il primo condensatore a estrazione i flussi di acqua di reintegro per la 3^a e la 2^a cella vengono prelevati. Dopo il secondo condensatore a estrazione il rimanente flusso di acqua di reintegro entra nella 1^a cella.

La salamoia dell'ultima cella viene estratta tramite una pompa per acqua salmastra e inviata alla linea di scarico dell'acqua di mare. La portata di salamoia estratta è controllata tramite apposita valvola regolata in base all'indicatore di livello della salamoia nell'ultima cella.

Lo scambiatore a piastre per il raffreddamento della salamoia e il preriscaldamento dell'acqua di mare è inserito nel circuito di scarico della salamoia.

Il distillato ottenuto in ogni cella è raccolto nel condensatore di rigetto dove, tramite una stazione di pompaggio, viene estratto e inviato ai serbatoi

di stoccaggio dell'acqua distillata oppure automaticamente inviato alla linea di scarico dell'acqua di mare se, la conducibilità supera determinati valori che indicano una bassa qualità del distillato. Per tale motivo l'impianto è dotato di due analizzatori di conducibilità e due valvole on-off automatiche.

Il flusso del distillato estratto è controllato da apposita valvola di controllo regolata dall'indicatore di livello del distillato nel condensatore di rigetto.

Il vapore a bassa pressione prodotto tramite l'acqua calda a 80 °C, dopo una riduzione di pressione, un controllo di portata e un attemperamento ottenuto tramite la miscelazione con il condensato, viene utilizzato per riscaldare la prima cella.

Il condensato viene estratto dal pozzo caldo della prima cella, tramite le pompe di rilancio di condensa e inviato nuovamente al serbatoio di evaporazione oppure, automaticamente scaricato nella linea di restituzione dell'acqua di mare se la conducibilità supera determinati valori.

Il flusso del condensato estratto è controllato da apposita valvola di controllo regolata dall'indicatore di livello del condensato nel pozzo caldo della prima cella.

Il trattamento dell'acqua di mare in ingresso all'evaporatore del dissalatore è costituito da un sistema di dosaggio anticalcare comprendente un serbatoio di diluizione e dosaggio con una capacità di 24 ore e due pompe dosatrici (di cui una di riserva). Il dosaggio della soluzione anticalcare è controllato automaticamente in proporzione al flusso di acqua di reintegro. La soluzione anticalcare deve avere una concentrazione del 10%.

Il sistema di dosaggio antischiuma comprende un deposito di diluizione e dosaggio con una capacità di 72 ore e due pompe dosatrici (di cui una di riserva).

Il dosaggio della soluzione antischiuma è controllato automaticamente in proporzione al flusso di acqua di reintegro. La soluzione antischiuma

dove avere una concentrazione dell'1%.

Il sistema di pulizia ad acido comprende un serbatoio dell'acido dove la soluzione pulente è preparata diluendo acido cloridrico con acqua di acquedotto al 33%.

Con una pompa di trasferimento tale soluzione acida viene portata all'unità. La pulizia ad acido, effettuata quando l'impianto non è in funzione, è realizzata utilizzando la pompa di circolazione della salamoia per fare fluire la soluzione acida pulente.

La soluzione acida pulente è quindi iniettata nella linea di aspirazione della pompa per salamoia.

Allegato 13 – Schema di flusso concettuale per la centrale di produzione di energia termica: l'acqua geotermica prelevata dal pozzo e l'acqua di mare in uscita dal dissalatore alimentano in parallelo l'evaporatore della pompa di calore, tramite un circuito intermedio costituito da acqua trattata, mediante l'interposizione di scambiatori di calore.

La pompa di calore produce acqua calda a 80 °C per alimentare un serbatoio di flash per la produzione di vapore a bassa pressione a servizio dell'impianto di dissalazione.

La temperatura di 20 °C del fluido geotermico in uscita dallo scambiatore di calore consente di scaricare in superficie il fluido geotermico, senza bisogno della reiniezione del fluido nel sottosuolo, limitando i costi di investimento connessi alla realizzazione del pozzo, a patto di avere un fluido geotermico con un basso contenuto di salinità.

La fattibilità di tale soluzione dovrà pertanto essere valutata in una successiva fase di sviluppo progettuale con un'analisi chimica del fluido geotermico.

Inoltre, la proposta impiantistica prevede che la centrale termica sia costituita unicamente dalla pompa di calore per la copertura integrale del carico termico dell'impianto di dissalazione. In una successiva fase progettuale di dettaglio,

per aumentare l'affidabilità dell'impianto, potrà essere prevista una caldaia di riserva alla pompa di calore per consentire la copertura del carico

termico in caso di fuori servizio della pompa di calore.

Il layout dell'impianto è mostrato nell'*Allegato 14*. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

3. Simulazione del funzionamento dell'impianto

3.1 Fabbisogni energetici dell'impianto

Per individuare le modalità di esercizio dell'impianto più idonee e valutare i quantitativi energetici ottenibili su base annua (energie prodotte e consumate), è stata eseguita, una simulazione del comportamento del sistema, riportata nell'**Appendice 2**.

La simulazione del comportamento del sistema prevede che l'impianto venga esercito per 8.000 h/anno in condizioni costanti e pari a quelle individuate nel bilancio di massa ed energia (*Allegato 13*). La simulazione permette quindi di determinare, su base annua, i flussi inerenti l'impianto, sia in termini quantitativi, che in termini energetici ed economici.

I risultati del procedimento di simulazione del comportamento dell'impianto sono riportati nella *Tabella 2*.

3.2 Risparmio energetico

Per comprendere quale sia il risparmio energetico e quindi economico della soluzione impiantistica proposta, è stato effettuato un confronto fra le caratteristiche della soluzione prevista e quelle di una soluzione di tipo convenzionale, basata cioè su una caldaia alimentata a combustibile fossile ed alimentazione elettrica dalla rete nazionale.

Nella configurazione impiantistica convenzionale la produzione dell'energia necessaria al dissalatore comporta i seguenti consumi di energia

Tabella 2.
Risultati principali
della simulazione
del comportamento
dell'impianto

	FLUSSI ENERGETICI	TOTALE MWh/anno
PRODUZIONE ENERGIA TERMICA		
Copertura dei fabbisogni utenza mediante:		
- pompa di calore (8.721 kW x 8.000 h/anno)		69.768
Percentuali di copertura:		
- pompa di calore		100,0%
- TOTALE		100,0%
FABBISOGNI ELETTRICI		
Fabbisogni elettrici		
• consumo elettrico pompa di calore:		23.256
• consumo elettrico ausiliari di centrale (stimato)		1.840
• TOTALE		25.096
Energia elettrica importata da rete		

primaria:

- consumo della caldaia ad acqua calda, con rendimento pari al 90 %;
- consumo delle centrali elettriche di tipo convenzionale per la produzione dell'energia elettrica richiesta dalla centrale convenzionale

per l'alimentazione di macchinari ed ausiliari di centrale. Questo consumo viene calcolato in base ad un rendimento medio complessivo del 46%, che include non solo il rendimento di centrale, ma anche le perdite di trasporto e quelle di trasformazione.

Tabella 3.
Valutazione del
risparmio energetico
ottenuto rispetto
ad un impianto
convenzionale di pari
potenza

RISPARMIO ENERGETICO ANNUO				
GRANDEZZE	MWh/anno prodotti	Rendimento	MWh/anno consumati	TEP/anno
CONSUMI NELLA SITUAZIONE DI RIFERIMENTO				
Energia elettrica sostituita dall'impianto				
Consumo della centrale convenzionale (bruciatore caldaia alimentata gas, pompe di circolazione, ecc.)	3.040			
Energia elettrica sostituita ed equivalente consumo di calore nelle centrali convenzionali:	3.040	46,0%	6.609	568
Energia termica sostituita ed equivalente consumo di calore nella caldaia convenzionale:	69.768	90,0%	77.520	6'667
A = Consumo calore nella situazione di riferimento			84.129	7.235
CONSUMI DEL NUOVO IMPIANTO				
Energia elettrica importata dalla rete	25.096	46,0%	54.557	4.692
B = Consumo di calore totale del nuovo impianto			54.557	4.692
C = A - B = Risparmio energetico annuo			29.572	2.543
Risparmio energetico / Consumo precedente (C / A)	%		35,0%	35,0%

Nella centrale oggetto di studio, la produzione dell'energia necessaria per l'impianto di dissalazione comporta i seguenti consumi di energia primaria:

- consumo delle centrali elettriche di tipo convenzionale per la produzione dell'energia elettrica richiesta dalla centrale geotermica per l'alimentazione della pompa di calore ed ausiliari di centrale. Questo consumo viene calcolato in base ad un rendimento medio complessivo del 46%, che include non solo il rendimento di centrale, ma anche le perdite di trasporto e quelle di trasformazione.

I dettagli della valutazione del consumo di energia primaria della centrale convenzionale e di quelle oggetto di studio sono riportate nel documento di simulazione del comportamento del sistema e cioè nell'**Appendice 2**. Nella *Tabella 3* sono sintetizzati i risultati ottenuti dalla simulazione.

3.3 Analisi ambientale

La centrale geotermica proposta per la produzione di acqua calda al servizio dell'impianto di dissalazione non presenta emissioni in atmosfera. Qualora si volessero tenere conto anche delle emissioni in atmosfera delle centrali elettriche che forniscono, tramite la rete nazionale, l'energia elettrica alla pompa di calore e agli ausiliari di centrale, si dovrebbero valutare le fonti di origine dell'energia stessa. Come descritto nel paragrafo “Ipotesi di realizzazione di un impianto full green”, esiste la possibilità di stringere contratti dedicati di fornitura elettrica con garanzia dell'origine da fonte rinnovabile dell'energia acquistata: in tale modo è possibile sfruttare la produzione di un altro impianto qualificato IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili) presente sul territorio per la copertura dei fabbisogni elettrici di centrale; tale soluzione consente di definire gli impianti geotermici proposti “full green”. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

4. Analisi di fattibilità economica

L'analisi di fattibilità economica eseguita si attiene ad una prassi largamente applicata, utilizzando il metodo dell'attualizzazione del flusso di cassa generato dal progetto (**DCF**, *Discounted Cash Flow*). La valutazione DCF porta alla determinazione di indici di valutazione sintetici, calcolati sulla base del flusso di cassa attualizzato. Il tasso di attualizzazione è stato assunto pari al 5%.

Tra tali indici, quelli di significato più generale e più largamente utilizzati sono:

- il valore attualizzato netto (**VAN**);
- il tasso interno di rendimento (**TIR**);
- il periodo di recupero attualizzato dell'investimento (**PRA**).

Tali indici sintetizzano il giudizio sulla redditività dell'iniziativa, esaminata da prospettive diverse, e insieme consentono di esprimere un giudizio articolato di merito.

Il significato rispettivo dei tre indici è il seguente:

- il **VAN** consiste nel valore attualizzato dell'eccedenza di liquidità generata dal progetto, calcolata con riferimento ad un tasso minimo di redditività prefissato (che, effettuando l'analisi a moneta costante, viene per questo caso assunto pari al 5%);
- il **TIR** è il tasso per il quale il valore attualizzato delle entrate egualgia il valore attualizzato delle uscite e indica il tasso di redditività dell'investimento cioè il tasso di interesse che annulla il **VAN**;
- il **PRA** rappresenta il tempo necessario perché la somma dei flussi di cassa positivi, attualizzati, uguagli la somma dei flussi di cassa negativi, pure attualizzati, per cui consiste in pratica nel numero di anni necessari al recupero dell'investimento, calcolato attualizzando i flussi di cassa in base al tasso di redditività sopra citato.

L'analisi economica viene sviluppata riferendo tutti i prezzi, sia per i costi d'investimento che per i flussi di esercizio, all'anno 2013.

Le analisi sono eseguite a moneta costante, in assenza di inflazione, considerando una durata dell'investimento di 25 anni, dei quali uno di progettazione e costruzione e ventiquattro di esercizio (che, quindi, inizia al secondo anno).

4.1 Costo d'investimento

La stima del costo d'investimento per la realizzazione dell'impianto è pari a 14.764.000 €, a cui devono però essere sottratti i costi che si dovrebbero comunque sostenere per realizzare un impianto con centrale termica di tipo convenzionale, stimati in 10.028.000 €. Pertanto il maggior costo della centrale geotermica, sul quale si baserà l'intera analisi economica dell'iniziativa, è di 4.736.000 €.

Le valutazioni analitiche relative al preventivo dei costi d'investimento sono riportate nell'**Appendice 3**.

Tabella 4.
Confronto tra il flusso di cassa generato dall'impianto e quello generato dal caso convenzionale

4.2 Costi e ricavi d'esercizio

4.2.1 Ricavi di esercizio

I ricavi dovuti alla realizzazione dell'impianto consistono nella fruizione dei Certificati bianchi. Il valore dei Certificati bianchi è stimato in ragione di 86,90 €/TEP (pari a 7,47 Euro/MWh) di risparmio energetico. Il relativo ricavo è previsto per 5 anni di esercizio.

4.2.2 Costi di esercizio

I costi di esercizio di ciascun impianto sono costituiti da:

- costo del combustibile (gas naturale) per la caldaia (solo per la situazione convenzionale di confronto)
- costo per acquisto di energia elettrica dalla rete
- costo di manutenzione dell'impianto
- personale di conduzione e gestione.

Nella *Tabella 4* si riportano le valutazioni economiche dei costi di esercizio; nei paragrafi seguenti si

DENOMINAZIONE FLUSSO	CENTRALE TERMICA CONVENZIONALE			CENTRALE CON POMPA DI CALORE			DELTA
A) RICAVI							
	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Ricavo Euro/anno	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Ricavo Euro/anno	Euro/anno
1 Certificati bianchi			-	7,47	29.572	221.005	221.005
TOTALE RICAVI			-			221.005	221.005
B) COSTI							
	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Costo Euro/anno	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Costo Euro/anno	DELTA
1 Acquisto combustibile per caldaia ad acqua calda	46,88	77.520	3.633.750			-	- 3.633.750
2 Acquisto energia elettrica dalla rete	135,00	3.040	410.400	135,00	25.096	3.387.960	2.977.560
TOTALE COSTI			4.044.150			3.387.960	- 656.190
C) MARGINE OPERATIVO LORDO			- 4.044.150			- 3.166.955	877.195

forniscono le necessarie spiegazioni sulle modalità di formazione dei costi stessi.

Costo del combustibile per la caldaia

Ai fini del presente studio, si assume un prezzo di riferimento del gas naturale pari a 46,88 €/MWh comprensivo di imposta di consumo (corrispondente ad un prezzo del gas naturale di 0,45 €/Smc e un potere calorifico di 9,6 kWh/Smc).

INDICE	U.M.	
TIR	%	15,86
VAN	€	5.275.365
PRA (al netto dell'anno di costruzione)	anni	6,96

Costo per acquisto di energia elettrica dalla rete

Ai fini del presente studio, si assume un prezzo di acquisto di energia elettrica pari a 135 €/MWh.

Costo di manutenzione dell'impianto

Si ritiene che il nuovo sistema proposto non comporti costi di manutenzione significativamente dissimili rispetto alla situazione convenzionale di confronto.

Personale di conduzione e gestione

Anche per quanto attiene l'onere per la conduzione e la gestione dell'impianto, si ritiene che il nuovo sistema non comporti oneri dissimili rispetto alla situazione convenzionale di confronto. L'impianto a pompa di calore opererà comunque completamente in automatico senza la necessità di presenza di personale.

4.3 Risultati dell'analisi di fattibilità economica

Le elaborazioni relative all'analisi economica sono state eseguite mediante un programma computerizzato, che prevede il calcolo dei tre indici **VAN**, **TIR** e **PRA**. Gli output di calcolatore con i risultati di dettaglio dell'analisi di fattibilità economica sono riportati nell'**Appendice 4**.

Gli indici ottenuti che consentono di valutare la redditività dell'impianto sono i seguenti:

4.4 Analisi di sensitività

Per valutare l'impatto che i ricavi ed i costi presentano sulla redditività economica dell'iniziativa, l'analisi di fattibilità economica viene corredata da una serie di analisi di sensitività dei risultati, al variare delle seguenti voci dei flussi di cassa:

- Costo d'investimento nel range +/- 20% rispetto al valore base ipotizzato nello studio
- Costo del gas naturale, nel range 0/+20% rispetto al valore base ipotizzato nello studio

Gli output di calcolatore con i risultati di dettaglio dell'analisi di sensitività sono riportati nell'**Appendice 4**.

4.5 Ipotesi di realizzazione di un impianto "full green"

Nella presente analisi economica non è presa in considerazione la possibilità di realizzare un impianto di tipo "full green", ovvero alimentato interamente mediante fonti di energia rinnovabili, in quanto l'unità a pompa di calore è alimentata elettricamente dalla rete nazionale.

Tuttavia, unicamente in considerazione anche del valore dimostrativo dell'intervento proposto, appare interessante valutare la possibilità di realizzare un impianto con funzionamento "full green".

Per ottenere tale risultato è necessario prevedere un sistema di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in grado di fornire, su base annua, la medesima quantità di energia consumata dalla pompa di calore e dagli ausiliari di centrale.

Esistono sostanzialmente le seguenti possibilità

per ottenere tale quantitativo di energia elettrica da fonte rinnovabile:

- installare un motore cogenerativo ad olio vegetale;
 - installare un impianto fotovoltaico;
 - installare un impianto eolico;
 - stringere contratti dedicati di fornitura elettrica con garanzia dell'origine dell'energia acquistata.
- Esistono sul mercato motori cogenerativi alimentati mediante olio vegetale (di palma, di colza, ecc.), che risulta a tutti gli effetti una fonte rinnovabile.

La soluzione di installare un motore cogenerativo ad olio vegetale presenta i seguenti vantaggi:

- il motore opera a potenza costante per un elevato numero di ore annue;
- la produzione elettrica risulta incentivata tramite i certificati verdi.

Per contro la soluzione proposta presenta qualche complessità, principalmente legata all'utilizzo dell'olio vegetale come combustibile e al suo reperimento.

Non si ritiene invece praticabile la soluzione con installazione di un impianto fotovoltaico, in quanto la quantità di energia elettrica da produrre comporterebbe la realizzazione di un impianto eccessivamente grande, sia in termini di superficie occupata dall'impianto sia in termini di costo di

investimento.

Per quanto riguarda la possibilità e la convenienza di installare un impianto eolico, in assenza di uno studio approfondito della direzione e dell'intensità del vento nella zona dove sorgerà l'impianto (l'atlante eolico italiano indica una velocità del vento da 5 a 6 m/s per tale area a 25 m s.l.t.), non si possono effettuare valutazioni, ancorchè preliminari. L'unica considerazione è che un impianto ad energia eolica per tale soluzione dovrebbe essere costituito da un numero limitato di turbine eoliche di dimensioni considerevoli (alcune centinaia di kW ciascuna) e che pertanto, da un punto di vista di spazi necessari, anche tale soluzione appare poco praticabile.

Infine, la soluzione più semplice e sicuramente la più conveniente, è quella di stringere un contratto di fornitura elettrica con uno dei tanti fornitori presenti sul mercato in cui sia precisata la fonte di origine dell'energia elettrica acquistata. In tale modo è possibile sfruttare la produzione di un altro impianto qualificato IAER (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili) presente sul territorio per la copertura dei fabbisogni della centrale.

Nello sviluppo dell'analisi di fattibilità economica non verrà quindi presa in considerazione l'ipotesi di realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. ■

5. Iter autorizzativo

5.1 Premessa

A livello normativo nazionale, la ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche effettuate nel territorio dello Stato, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale italiana sono definite dal **D.lgs. 11 febbraio 2010, n.22 e s.m.i.**

Tuttavia, la Sicilia essendo regione autonoma a statuto speciale ha la potestà legislativa esclusiva in materia di “miniere, cave, torbiere e saline”.

Di seguito ci limitiamo a dare informazioni sintetiche e di carattere generale di classificazione degli impianti previsti per l'utilizzo della risorsa geotermica secondo la normativa nazionale, per poi fornire utili indicazioni sulla presentazione della domanda secondo la specifica normativa vigente sul territorio siciliano.

Riferimenti di dettaglio utili alla preparazione dei documenti sono descritti nel volume “*VIGOR: Sviluppo geotermico nelle regioni della Convergenza*”

5.2 Classificazione e tipologie di impianti

Ai sensi del D. Lgs. 22/2010, vengono classificate tre tipologie di risorse geotermiche, a seconda della temperatura dei fluidi:

- Risorse geotermiche ad alta entalpia, “caratterizzate da una temperatura del fluido reperito superiore a 150 °C”;
- Risorse geotermiche a media entalpia, “caratterizzate da una temperatura del fluido reperito compresa tra 90 °C e 150 °C”;
- Risorse geotermiche a bassa entalpia, “caratterizzate da una temperatura del fluido reperito inferiore a 90 °C”

Ulteriore classificazione viene proposta ai sensi dell'art.1 del suddetto decreto, secondo il quale vengono definite:

- **Risorse d'interesse nazionale** le risorse geotermiche ad alta entalpia che possono “assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20 MW termici”, nonché tutte quelle “rinvenute in aree marine”;

- **Risorse d'interesse locale** le risorse geotermiche a media e bassa entalpia “di potenza inferiore a 20 MW termici”;
- **Piccole utilizzazioni locali** di calore geotermico quelle per le quali sono soddisfatte congiuntamente le seguenti condizioni:
 - consentono la realizzazione di impianti di potenza inferiore a 2 MW termici, ottenibili dal fluido geotermico alla temperatura convenzionale dei reflui di 15 gradi centigradi;
 - ottenute mediante l'esecuzione di pozzi di profondità fino a 400 metri per ricerca, estrazione e utilizzazione di fluidi geotermici o acque calde, comprese quelle sgorganti da sorgenti per potenza termica complessiva non superiore a 2.000 kW termici.
 - Sono definite anche **piccole utilizzazioni locali** di calore geotermico quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo senza effettuare il prelievo e la reiniezione nel sottosuolo di acque calde o fluidi geotermici.

La soluzione impiantistica individuata per il sito di Termini Imerese, prevede il reperimento della risorsa geotermica da profondità inferiori ai 400 m, ricadendo così nell'ambito delle piccole utilizzazioni locali.

5.3 Iter autorizzativo per impianti con prelievo di fluido dal sottosuolo

La Regione Sicilia per la derivazione di acque pubbliche si attiene integralmente al **R. D. 1775/1933 e s.m.i.** (*Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici*). Tale decreto trova applicazione sull'intero territorio ed è integrato dalla **L. R. n. 7 del 21 maggio 2003** (*Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 2 agosto 2002, n. 7. Disposizioni in materia di acque sotterranee ed in materia urbanistica*).

Chiunque intenda provvedere alla ricerca di acque sotterranee o allo scavo di pozzi, per usi

diversi da quello domestico, deve chiederne autorizzazione all'ufficio regionale del Genio Civile di competenza.

Per ottenere l'autorizzazione alla ricerca è necessario presentare:

- domanda in carta bollata, indirizzata all'ufficio del Genio Civile di competenza (quattro copie di cui una in bollo);
- relazione tecnica riguardante il progetto di ricerca, l'utilizzazione prevista delle acque e le caratteristiche del pozzo (quattro copie);
- relazione idrogeologica (quattro copie);
- planimetria catastale con esatta indicazione del punto di indagine (quattro copie);
- corografia dell'I.G.M. in scala 1:25.000 di cui due con indicazione in rosso del punto di indagine (cinque copie);
- copia del certificato catastale ed estratto di mappa, relativi alla particella ove si intende realizzare il pozzo (quattro copie);
- copia del titolo di proprietà o altro titolo equipollente (tre copie);
- atto di consenso dei proprietari dei fondi nel caso in cui l'opera ricada nel terreno di proprietà di terzi;
- autorizzazione comunale per lo scavo del pozzo o se non ancora rilasciata, l'istanza per l'ottenimento.

L'istanza di ricerca idrica dovrà essere corredata di tutta la documentazione, il cui elenco completo è reperibile sul sito della Regione Sicilia (al link <http://www.regione.sicilia.it/lavoripubblici/geniocivilepa/Sito%20Web%20Genio%20Civile%20Palermo/Link/Modulistica%20acque%20pubbliche/00%20-%20Testata.htm>)

Successivamente alla realizzazione del pozzo ed al ritrovamento della risorsa idrica è possibile inoltrare richiesta di concessione per l'attingimento delle acque sotterranee.

L'istanza deve essere indirizzata all'Assessorato Regionale ai Lavori Pubblici, per il tramite

dell'ufficio del Genio Civile di Palermo, in doppio originale in bollo e in duplice copia in carta semplice e deve essere completa di:

- dati anagrafici, codice fiscale e residenza del richiedente;
- indicazione comune, contrada e particella dove è ubicata la derivazione;
- quantità di acqua richiesta in concessione;
- uso delle acque richieste.
- Alla domanda deve essere allegata la seguente documentazione tecnica:
 - relazione nella quale deve essere dettagliatamente descritto il piano di captazione ed di utilizzazione delle acque;
 - relazione idrogeologica redatta sulla base della Nota Assessoriale n.1872/99;
 - certificato catastale ed estratto di mappa relativi alla particella di interesse;
 - titolo di proprietà;
 - planimetria del comprensorio servito;
 - carta topografica dell'I.G.M. (una copia) in scala 1:25.000 con ubicazione in rosso dell'opera;

- sezione quotata dell'opera di captazione e delle eventuali opere di raccolta esistenti e da installare;
- disegni particolareggiati delle opere d'arte principali (attraversamenti, ponti, canali ecc...).

Per quel che riguarda lo scarico delle acque, l'ufficio competente istruisce la pratica, verifica la completezza della documentazione presentata e la congruità rispetto a quanto stabilito dal **D. Lgs. 152/2006** e **s.m.i e** della **L. R. n. 27 del 15 maggio 1986** e **s.m.i.** (*Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla legge regionale 18 giugno 1977, n. 39 e successive modificazioni ed integrazioni*).

Si ricorda che per gli impianti eccedenti 1 MW di potenza termica installata è necessaria la procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA. Inoltre, per tutte le opere da effettuare in aree della Rete Natura 2000 è necessaria presentare la valutazione d'incidenza. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Bibliografia di riferimento

Alaimo R., Carapezza M., Dongarrà G. & Hauser S. (1987) - *Geochimica delle sorgenti termali siciliane*. In: AA. VV. "Risorse termali della Sicilia ed isole minori". Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica, Univ. di Palermo. Regione Sicilia, Assessorato Territorio e Ambiente, 47-65, STASS, Palermo.

Alaimo R., Calderone S., Inguaggiato S. & Sortino F. (1990) – *Geochimica sugli acquiferi termali della Sicilia occidentale*. "Geologia Applicata e Idrogeologia", 25, Bari.

Alaimo R. & Censi P. (1983) – *Determinazioni di δ O₁₈ e di δ D su campioni di acque sotterranee siciliane. Implicazioni geochimiche e geotermiche*. "Miner. Petrogr. Acta", 27, 183-200.

Calderone S. & Leone M. (1967) – *Contributo allo studio del Flysch Numidico siciliano*. Atti dell'Accademia di Scienze, Lett. e Arti di Palermo. Serie IV, XXVII:1966-67, parte I.

Caracausi A., Favara R., Italiano F., Nuccio P. M., Paonita, A. & Rizzo, A. (2005). *Active geodynamics of the central mediterranean sea: heat and helium evidences for a trans-tensional zone connecting the Sicily Channel to the southern Tyrrhenian Sea*. "Geophys. Res. Lett.", 32, L04312. doi:10.1029/2004GL021608.

Catalano R. & D'Argenio B. (1982) - *Schema geologico della Sicilia occidentale*. In: R. Catalano R. & D'Argenio B. (Eds.), *Guida alla geologia della Sicilia occidentale. Guide geologiche regionali*, Mem. Soc. Geol. It., suppl. A, 24, 9-41, Palermo.

Catalano R., Di Stefano P., Sulli A. & Vitale F.P. (1996) - *Paleogeography and structure of the Central Mediterranean: Sicily and its offshore area*. Tectonophysics, 260, 291-323.

Catalano R., Avellone G., Basilone L., Agate M., Contino C., Di Maggio C., Di Stefano E., Lena G., Gugliotta C., Gennaro C., Arnone M., Sulli A., Di Maio D., Mancuso M. & Abate B. (2011) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 dei Fogli 609 e 596 "Termini Imerese - Capo Plaia"*. Progetto CARG.

Ciofalo M. (1924) - *Studio idrogeologico delle sorgenti termominerali di Termini Imerese*. 32 pp., 1 fig., 1 carta geologica 1: 1.000.000, 2 sez. geol., Tip. Di Carlo, Palermo.

Contino A. (2005) – *Geologia Urbana dell'abitato e della Zona Industriale di Termini Imerese (Sicilia settentrionale)*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Geologia - XVII ciclo, Università degli Studi di Palermo, 214 pp. Inedita

Contino A., Cusimano G. & Frias Forcada A. (2004) – *Assetto Idrostrutturale dei Monti di Trabia e Termini Imerese (Sicilia settentrionale) e valutazione delle risorse idriche immagazzinate*. "Attività esplorativa e ricerca

nelle aree carsiche siciliane", Atti del 4° Convegno di Speleologia della Sicilia, 1°- 5 maggio 2002, Custonaci (TP). Suppl. Speleologia Iblea, 10, Anno 2002. Pubblicazione n. 2595 del G. N. D. C. – C. N. R., U. O. 4.17: 99-106.

Catalano R., Avellone G., Basilone L., Agate M., Contino C., Di Maggio C., Di Stefano E., Lena G., Gugliotta C., Gennaro C., Arnone M., Sulli A., Di Maio D., Mancuso M. & Abate B. (2011) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 dei Fogli 609 e 596 "Termini Imerese - Capo Plaia"*. Progetto CARG.

Gennaro C., Contino A., Avellone G. & Di Maggio C.(2012) - *A Multidisciplinary approach to define the Plio-Quaternary tectonics in the Termini Imerese Mts. (Northern central Sicily)*. In: Critelli S., Muto F., Perri F., Petti F. M., Sonnino M. & Zuccari A. (a cura di), "Note brevi e riassunti dell'86° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana", Arcavacata di Rende (CS), 18-20 settembre 2012, Thematic Sessions 1.4 - Evoluzione Neogenico-Quaternaria dell'orogene peritirrenico (Neogene-Quaternary evolution of the peri-Tyrrhenian orogen). Rendiconti on line Soc. Geol. It. , vol. 21 (2012), parte 1, 170-171.

Guidoboni E., Mariotti D., Giammarinaro M. S. & Rovelli A. (2003) – *Identification of Amplified Damage Zones in Palermo, Sicily (Italy), during the Earthquakes of the Last Three Centuries*. Bull. Seism. Soc. Am., 93, 4, 1649-1669.

Lee H. K. & Uyeda S. (1965) – *Review of heat flow data, in "Terrestrial heat flow"*, Amer. Geophys Un. Geophys. Monog., Washington, 18, 87-190.

Appendice

Appendice 1 *Esecuzione e risultati del sondaggio*

Esecuzione e risultati del sondaggio geognostico.....	126
Stratigrafia interpretata del sondaggio esplorativo.....	126
Prove e logs eseguiti.....	127

Appendice 2 *Simulazione del comportamento del sistema*

Riepilogo simulazione del comportamento del sistema.....	128
Risparmio energetico annuo.....	129
Variazione dei flussi di cassa.....	130

Appendice 3 *Preventivo di massima del costo d'investimento*

Preventivo del costo d'investimento.....	131
--	-----

Appendice 4 *Analisi di fattibilità economica*

Flussi annuali in moneta a valore costante (euro).....	132
Risultati finali 1.....	133
Risultati finali 2.....	134
Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i 1.....	135
Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i 2.....	136

Esecuzione e risultati del sondaggio geognostico

Le attività relative all’istallazione del cantiere, all’esecuzione del foro, alle indagini geofisiche ed alla dismissione e ripristino delle condizioni antecedenti, sono state svolte nel periodo compreso tra il 19.02.2014 ed il 23.04.2014. L’esecuzione del sondaggio è iniziata il 22.02.2014 ed è terminata il 10.04.2014.

Il sondaggio, ad andamento verticale, è stato spinto sino alla profondità di 351,30 m dal p. c. Il tratto compreso tra 0,00 m e -90,00 m dal p. c. è stato eseguito a distruzione di nucleo, mentre da questa profondità, sino a fondo foro, è stato perforato a carotaggio continuo con sistema *wire-line*.

Stratigrafia interpretata del sondaggio esplorativo

La stratigrafia del sondaggio esplorativo VIGOR “Termini Imerese” è stata interpretata tenendo conto della nomenclatura codificata nell’ambito del progetto CARG. Per ulteriori approfondimenti si rimanda a CATALANO *et al.*, 2011.

La successione stratigrafica intercettata (dall’alto in basso) è la seguente:

0 ÷ -8,00. Marne argilloso-siltose grigio chiare se alterate, grigio brunastre in profondità, a luoghi sabbiose, ricche di lamelle di mica muscovite e di granuli di glauconite verdognola. Equiv. Fm. Tavernola *Auct.* (TAV).

-8,00 ÷ -105,50. Seguono (con un limite che sul terreno è una superficie di discordanza che marca una notevole lacuna), delle argilliti da grigio-brunastre a grigio verdastre, laminate, spesso con superfici di distacco traslucide, leggermente untuose al tatto. A luoghi con vene e letti di calcite spatica. Equiv. Mb. di Portella Colla del Flysch Numidico (FYN₂).

-105,50 ÷ -107,50. Calcareniti spatiche bioclastiche grigio chiare o biancastre, gradate, a vene di calcite spatica, con frequenti passaggi laterali ad argilliti c.s. (FYN_{2b})

-107,50 ÷ -181,80. Argilliti da grigio-brunastre a grigio verdastre, laminate, spesso con superfici di distacco traslucide, leggermente untuose al tatto. A luoghi con vene e letti di calcite spatica. Equiv. Mb. di Portella Colla del Flysch Numidico (FYN₂).

-181,80 ÷ -182,00. Calcareniti spatiche bioclastiche a macroforaminiferi, gradate, grigio-brunastre con frequenti passaggi laterali ad argilliti c.s. (FYN_{2b})

-182,00 ÷ -217,00. Argilliti da grigio-brunastre (sideritiche, *clay ironstones*, *sensu* Calderone & Leone, 1967) a grigio verdastre, laminate, spesso con superfici di distacco traslucide, leggermente untuose al tatto, con vene e letti di calcite spatica. Localmente vi sono zone di tettonizzazione macroscagliette. Equiv. Mb. di Portella Colla del Flysch Numidico (FYN₂).

-217,00 ÷ -220,85. Argilliti marnose grigio-verdastre laminate, untuose al tatto, con intercalazioni di calcareniti spatiche grigio-brunastre a macroforaminiferi. Al tetto, contatto meccanico marcato da un reticolo di vene di calcite spatica. Equiv. Fm. Caltavuturo *Auct.* (CAL).

-220,85 ÷ -254,70. Marne da rosso vino a verdastre, untuose al tatto, a laminazione da piano parallela ad obliqua, con intercalazioni di calcareniti (localmente calciruditi) bioclastiche grigio chiare a macroforaminiferi, gradate e laminate. A luoghi, i livelli calcarei si presentano lenticolari o con frequenti passaggi laterali con le marne. Equiv. Fm. Caltavuturo *Auct.* (CAL).

-254,70 ÷ -285,50. Calciruditi e calcareniti bioclastiche grigio chiare, spesso gradate, con frequenti diaclasi sia totalmente riempite da vene di calcite spatica, sia parzialmente occluse da druse di calcite spatica. A più altezze intercalazioni di orizzonti di marne verdastre laminate, untuose al tatto. Equiv. Mb. delle brecce a Rudiste della Fm. Crisanti *Auct.* (CRI₄).

-285,50 ÷ -297,60. Marne rosso mattone e/o verdastre laminate, con intercalazioni generalmente centimetriche di calcareniti spatiche

grigio-biancastre e/o di livelli brecciformi. Equiv. Mb. marnoso-spongoliti della Fm. Crisanti *Auct.* (CRI₃).

-297,60 ÷ -351,30. Calciruditi e calcareniti spatiche grigio scure, con zone brecciformi, talvolta vacuolari, con patine di ossidazione grigio-brunastre o grigio-rossastre. A luoghi, sottili orizzonti marnoso-argillosi verdastri, laminati ed untuosi al tatto. Equiv. Mb. delle brecce ad Ellipsactinie della Fm. Crisanti *Auct.* (CRI₂).

Prove e logs eseguiti

Terminato il sondaggio sono state eseguite le prove ed i *logs* geofisici in foro quali:

- **prova di permeabilità Lugeon** (eseguita in avanzamento, isolando opportunamente il tratto di foro da caratterizzare, nel tratto compreso tra -271,40 m e -277,60 m da p. c.) per misurare la permeabilità dell'ammasso roccioso e l'andamento dell'assorbimento di acqua in funzione della pressione di immissione dell'acqua. La prova fornisce, oltre a dati sulla permeabilità, anche indicazioni sulla continuità dei giunti e sulla natura del riempimento. Il valore della permeabilità è espresso in U.L. (Unità Lugeon), dove una U.L. corrisponde a 1 litro al minuto per 1 metro di foro alla pressione di iniezione di 10 atm.
- **rilevi in foro e logs geofisici.** Sono stati altresì eseguiti i seguenti rilievi in foro lungo tutta la verticale del sondaggio tramite apposite sonde che sono state calate all'interno del foro di sondaggio per mezzo di un verricello a velocità costante:
 - **rilievo ultrasonico (Acoustic Televiwer Log, BHTV)**, con Televiwer acustico in foro (ALT ABI40), per la determinazione delle strutture, la loro orientazione, nonché per la determinazione dell'andamento del foro (**misura della verticalità**);
 - **misura diametro del foro (Caliper, CL);**
 - **misura radiazioni gamma naturali**, ovvero la misura della radioattività naturale delle rocce attraversate dal sondaggio esplorativo;
 - **log sonico (Full Wave Sonic)**, per la determinazione delle velocità delle onde P e S;
 - **misura della temperatura (T) e della conducibilità elettrica (C).**
- **prelievo di campioni in foro di acque sotterranee:** dopo l'esecuzione dei rilievi e *logs* geofisici, previa misura del livello di falda in foro, sono stati eseguiti due campionamenti di acque sotterranee nel sondaggio, rispettivamente alla profondità di -58,00 m e di -65,00 m dal p. c., per un quantitativo pari ad 1 litro. ■

Appendice 2 Simulazione del comportamento del sistema

Riepilogo simulazione del comportamento del sistema

FLUSSI ENERGETICI	TOTALE MWh/anno
PRODUZIONE ENERGIA TERMICA	
Copertura dei fabbisogni utenza mediante:	
- pompa di calore (8.721 kW x 8.000 h/anno)	69.768
Percentuali di copertura:	
- pompa di calore	100,0%
- TOTALE	100,0%
FABBISOGNI ELETTRICI	
Fabbisogni elettrici	
• consumo elettrico pompa di calore:	23.256
• consumo elettrico ausiliari di centrale (stimato)	1.840
• TOTALE	25.096
En. elettrica importata da rete	25.096

Risparmio energetico annuo

GRANDEZZE	MWh/anno prodotti	Rendimento	MWh/anno consumati	TEP/anno
CONSUMI NELLA SITUAZIONE DI RIFERIMENTO				
Energia elettrica sostituita dall'impianto				
Consumo della centrale convenzionale (bruciatore caldaia alimentata gas, pompe di circolazione, ecc.)	3.040			
Energia elettrica sostituita ed equivalente consumo di calore nelle centrali convenzionali:	3.040	46,0%	6.609	568
Energia termica sostituita ed equivalente consumo di calore nella caldaia convenzionale:	69.768	90,0%	77.520	6.667
A = Consumo calore nella situazione di riferimento			84.129	7.235
CONSUMI DEL NUOVO IMPIANTO				
Energia elettrica importata dalla rete				
B = Consumo di calore totale del nuovo impianto	25.096	46,0%	54.557	4.692
C = A - B = Risparmio energetico annuo			54.557	4.692
Risparmio energetico / Consumo precedente (C / A)	%		29.572	2.543
			35%	35%

Appendice 2 Simulazione del comportamento del sistema

Variazione dei flussi di cassa

DENOMINAZIONE FLUSSO		CENTRALE TERMICA CONVENZIONALE			CENTRALE CON POMPA DI CALORE			DELTA
A) RICAVI		Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Ricavo Euro/anno	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Ricavo Euro/anno	Euro/anno
1 Certificati bianchi					7,47	29.572	221.005	221.005
TOTALE RICAVI								
B) COSTI		Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Costo Euro/anno	Tariffa Euro/MWh	Quantitativo MWh/anno	Costo Euro/anno	DELTA
1 Acquisto combustibile per caldaia ad acqua calda	46,88	77.520	3.633.750					-3.633.750
2 Acquisto energia elettrica dalla rete	135,00	3.040	410.400	135,00	25.096	3.387.960	3.387.960	2.977.560
TOTALE COSTI								
O) MARGINE OPERATIVO LORDO				-4.044.150			-3.166.955	877.195

DESCRIZIONE	u.m.	CENTRALE CONVENZIONALE		CENTRALE CON POMPA DI CALORE		DELTA Costo totale (Euro)
		Costo unitario (Euro)	Costo totale (Euro)	Costo unitario (Euro)	Costo totale (Euro)	
A) IMPIANTO DI DISSALAZIONE E CENTRALE TERMICA						
A.1	Dissalatore con tecnologia evaporativa a Multiplo Effetto, per la produzione di 90 m ³ /h di acqua potabile, di costruzione Officine Reggiane - Demont o similare	n.	1	7.500.000	7.500.000	1
A.2	Pompa di calore da 8.720 kWt, di costruzione Friotherm o similare	n.	-	-	1	3.915.000
A.3	Caldia ad acqua calda da 8.720 kWt	n.	1	380.000	380.000	-
A.4	Opere di presa e di scarico acqua di mare	a corpo		150.000		380.000
A.5	Realizzazione circuito geotermico	a corpo		-		150.000
A.6	Cappottatura insonorizzante per installazione pompa di calore	a corpo		-		250.000
A.7	Altra componentistica di centrale (flash tank, serbatoi di stocaggio acqua distillata, vasi di espansione, pompe, ecc.)	a corpo		150.000		250.000
A.8	Tubazioni, valvolame e collettorazioni	a corpo		80.000		60.000
A.9	Impianti ausiliari (antincendio, scarichi, aria compressa, etc.)	a corpo		35.000		60.000
A.10	Montaggi meccanici (escluso dissalatore)	a corpo		150.000		150.000
A.11	Impernistica elettrica (compresi montaggi elettrostrumentali)	a corpo		250.000		350.000
A.12	Sistemi di supervisione e controllo e sistemi di contabilizzazione del calore	a corpo		40.000		60.000
A.13	Opere civili (fondazioni, solette, etc.)	a corpo		550.000		700.000
	Subtotale A			9.285.000		13.670.000
B)	Attività di ingegneria (8% di A)			743.000		1.094.000
						351.000
						4.736.000
						14.764.000
						10.028.000
	COSTO DI INVESTIMENTO COMPLESSIVO					

Appendice 4 Analisi di fattibilità economica

Flussi annuali in moneta a valore costante (euro)

Anno	FLUSSO				
	Costo investimento	Certificati bianchi	Mancato acquisto combustibile per caldaie	Acquisto energia elettrica dalla rete	Totale
1	-4.736.000				-4.736.000
2		221.005	3.633.750	-2.977.560	877.195
3		221.005	3.633.750	-2.977.560	877.195
4		221.005	3.633.750	-2.977.560	877.195
5		221.005	3.633.750	-2.977.560	877.195
6		221.005	3.633.750	-2.977.560	877.195
7			3.633.750	-2.977.560	656.190
8			3.633.750	-2.977.560	656.190
9			3.633.750	-2.977.560	656.190
10			3.633.750	-2.977.560	656.190
11			3.633.750	-2.977.560	656.190
12			3.633.750	-2.977.560	656.190
13			3.633.750	-2.977.560	656.190
14			3.633.750	-2.977.560	656.190
15			3.633.750	-2.977.560	656.190
16			3.633.750	-2.977.560	656.190
17			3.633.750	-2.977.560	656.190
18			3.633.750	-2.977.560	656.190
19			3.633.750	-2.977.560	656.190
20			3.633.750	-2.977.560	656.190
21			3.633.750	-2.977.560	656.190
22			3.633.750	-2.977.560	656.190
23			3.633.750	-2.977.560	656.190
24			3.633.750	-2.977.560	656.190
25			3.633.750	-2.977.560	656.190

Risultati finali 1

Anno	Flusso di cassa	Flusso cumulato	Flusso di cassa attualizzato	Flusso cumulato attualizzato
1	-4.736.000	-4.736.000	-4.736.000	-4.736.000
2	877.195	-3.858.805	835.424	-3.900.576
3	877.195	-2.981.611	795.641	-3.104.935
4	877.195	-2.104.416	757.754	-2.347.181
5	877.195	-1.227.221	721.670	-1.625.511
6	877.195	-350.027	687.305	-938.206
7	656.190	306.163	489.659	-448.547
8	656.190	962.353	466.342	17.795
9	656.190	1.618.543	444.135	461.930
10	656.190	2.274.733	422.986	884.916
11	656.190	2.930.923	402.844	1.287.760
12	656.190	3.587.113	383.661	1.671.421
13	656.190	4.243.303	365.391	2.036.812
14	656.190	4.899.493	347.992	2.384.803
15	656.190	5.555.683	331.421	2.716.224
16	656.190	6.211.873	315.639	3.031.862
17	656.190	6.868.063	300.608	3.332.471
18	656.190	7.524.253	286.294	3.618.764
19	656.190	8.180.443	272.660	3.891.425
20	656.190	8.836.633	259.677	4.151.101
21	656.190	9.492.823	247.311	4.398.412
22	656.190	10.149.013	235.534	4.633.947
23	656.190	10.805.203	224.318	4.858.265
24	656.190	11.461.393	213.637	5.071.902
25	656.190	12.117.583	203.463	5.275.365

Durata dell'investimento: 25 anni

Tasso di attualizzazione: 5%

Valore attualizzato netto = 5.275.365 euro

Periodo di recupero attualizzato al netto degli anni di costruzione = 6,96 anni

Appendice 4 Analisi di fattibilità economica

Risultati finali 2

Anno	Flusso di cassa	Flusso cumulato	Flusso di cassa attualizzato	Flusso cumulato attualizzato
1	-4.736.000	-4.736.000	-4.736.000	-4.736.000
2	877.195	-3.858.805	756.942	-3.979.058
3	877.195	-2.981.611	653.175	-3.325.883
4	877.195	-2.104.416	563.632	-2.762.251
5	877.195	-1.227.221	486.365	-2.275.886
6	877.195	-350.027	419.691	-1.856.195
7	656.190	306.163	270.913	-1.585.283
8	656.190	962.353	233.774	-1.351.509
9	656.190	1.618.543	201.726	-1.149.782
10	656.190	2.274.733	174.072	-975.710
11	656.190	2.930.923	150.209	-825.501
12	656.190	3.587.113	129.617	-695.884
13	656.190	4.243.303	111.848	-584.036
14	656.190	4.899.493	96.515	-487.520
15	656.190	5.555.683	83.284	-404.236
16	656.190	6.211.873	71.867	-332.369
17	656.190	6.868.063	62.015	-270.354
18	656.190	7.524.253	53.513	-216.841
19	656.190	8.180.443	46.177	-170.664
20	656.190	8.836.633	39.847	-130.817
21	656.190	9.492.823	34.384	-96.432
22	656.190	10.149.013	29.671	-66.761
23	656.190	10.805.203	25.603	-41.158
24	656.190	11.461.393	22.093	-19.065
25	656.190	12.117.583	19.065	0

Durata dell'investimento: 25 anni

Tasso interno di rendimento: 15,89%

Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i 1

Variazione percentuale del flusso	Valore Attualizzato Netto	Periodo di Recupero Attualizzato	Tasso Interno di Rendimento
Costo dell'investimento	(Euro)	(anni)	(%)
-20%	6.222.565	4,99	20,68
-18%	6.127.845	5,18	20,10
-16%	6.033.125	5,37	19,55
-14%	5.938.405	5,56	19,02
-12%	5.843.685	5,76	18,51
-10%	5.748.965	5,95	18,03
-8%	5.654.245	6,15	17,56
-6%	5.559.525	6,35	17,12
-4%	5.464.805	6,56	16,69
-2%	5.370.085	6,76	16,28
0%	5.275.365	6,96	15,89
2%	5.180.645	7,17	15,51
4%	5.085.925	7,39	15,14
6%	4.991.205	7,60	14,79
8%	4.896.485	7,81	14,45
10%	4.801.765	8,03	14,12
12%	4.707.045	8,25	13,80
14%	4.612.325	8,48	13,49
16%	4.517.605	8,70	13,19
18%	4.422.885	8,92	12,90
20%	4.328.165	9,15	12,62

Appendice 4 Analisi di fattibilità economica

Sensitività dell'indice rispetto a variazione/i del/dei flusso/i 2

Variazione percentuale del flusso	Valore Attualizzato Netto (Euro)	Periodo di Recupero Attualizzato (anni)	Tasso Interno di Rendimento (%)
Mancato acquisto combustibile per caldaie			
0%	5.275.365	6,96	15,89
1%	5.776.774	6,54	16,79
2%	6.278.182	6,15	17,68
3%	6.779.590	5,82	18,56
4%	7.280.998	5,52	19,43
5%	7.782.406	5,24	20,30
6%	8.283.814	4,99	21,15
7%	8.785.222	4,82	22,00
8%	9.286.631	4,65	22,85
9%	9.788.039	4,49	23,69
10%	10.289.447	4,35	24,52
11%	10.790.855	4,21	25,36
12%	11.292.263	4,08	26,18
13%	11.793.671	3,96	27,01
14%	12.295.079	3,84	27,83
15%	12.796.488	3,74	28,65
16%	13.297.896	3,64	29,46
17%	13.799.304	3,54	30,27
18%	14.300.712	3,45	31,09
19%	14.802.120	3,36	31,89
20%	15.303.528	3,28	32,70

VIGOR: VALUTAZIONE GEOTERMICA CON GEOFISICA ELITRASPORTATA

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Executive summary

Nell'ambito del Progetto VIGOR è stata testata in Sicilia una nuova procedura per ottimizzare la valutazione del potenziale di geoscambio superficiale già descritta nel volume *"VIGOR Sviluppo geotermico nelle regioni della convergenza"* (Albanese *et al.* 2014), fornendo dati e mappe di potenziale per alcune aree tipo poste in prossimità delle principali sorgenti termali in Sicilia occidentale (Montevago, Calatrasi, Terme Segestane e Termini Imerese). La scelta di testare un approccio metodologico innovativo in queste aree è stata anche guidata dalla mancanza di sufficienti dati geologici di superficie e di sottosuolo essenziali per una corretta valutazione del potenziale geotermico superficiale.

Nella procedura qui descritta il sottosuolo è stato investigato in dettaglio fino ad una profondità di circa 250 metri, mediante una metodologia geofisica elettromagnetica elitrasportata AEM (Airbone ElectroMagnetic, nel nostro studio utilizzando il sistema SkyTEM) e l'analisi in laboratorio delle proprietà fisiche su campioni di roccia.

Il lavoro si è articolato in diverse fasi, che si compongono in sintesi di:

- esplorazione geofisica mediante metodologia AEM, i cui risultati sono rappresentati da modelli tridimensionali di resistività elettrica di sottosuolo;
- analisi comparativa tra le carte geologiche e le mappe di resistività in modo tale da individuare i valori di resistività caratteristici delle formazioni affioranti, validati, laddove possibile, mediante confronto con i dati di pozzo a disposizione. Individuati tali valori è stato possibile definire le "Unità Lito-Elettriche" (ULE) ovvero una formazione o gruppi di formazioni geologiche con caratteristiche stratigrafiche ed elettriche comparabili. Una volta identificate le ULE sono stati realizzati i modelli geologici tridimensionali (3D) sulla base dei dati AEM e geologici.
- analisi di laboratorio sui campioni di roccia rappresentativi delle litologie riconducibili alle formazioni geologiche delle aree di studio, che

hanno permesso di definire le caratteristiche termofisiche delle ULE che compongono i modelli geologici 3D. Su una selezione di questi campioni, inoltre, sono state condotte analisi sperimentali per una caratterizzazione della resistività elettrica delle litologie più significative. Infine, assegnando ad ogni ULE il corrispondente valore di conducibilità termica, calcolato considerando sia la variabilità litologica di ogni formazione sia gli spessori delle varie litologie coinvolte, è stato possibile definire i modelli termofisici tridimensionali per i quattro siti test in esame.

- calcolo del potenziale di geoscambio in termini di energia termica scambiabile per sistemi a circuito chiuso e sua rappresentazione mediante cartografia tematica.

Il risultato di tale processo è rappresentato da carte del potenziale di geoscambio

concettualmente paragonabili a quanto già prodotto a livello regionale, ma basate su una identificazione di dettaglio delle condizioni fisiche del sottosuolo alle profondità entro le quali si progettano le sonde di geoscambio. Oltre alle mappe, la procedura ha permesso di produrre le stratigrafie dei modelli tridimensionali prodotti, fornite in ogni elemento puntuale delle mappe. Le stratigrafie riportano la profondità del tetto delle Unità Lito-Elettriche, le unità stratigrafiche che le costituiscono ed il valore di conducibilità termica.

Tutti i dati prodotti sono disponibili al pubblico sul WebGIS del progetto VIGOR (<http://www.vigor-geotermia.it>, alla pagina “prodotti”).

Grazie a questa procedura è possibile progettare impianti di climatizzazione con pompe di calore in accoppiamento a sonde di geoscambio partendo da una base informativa sulle condizioni fisiche del sottosuolo molto più dettagliata di quanto sia possibile in tutto il resto del territorio. ■

1. Inquadramento geologico

La Sicilia rappresenta un settore della Catena orogenica Appenninico-Maghrebide formatasi lungo il limite di placca Africa-Eurasia. Il complesso

collisionale della Sicilia (Catalano *et al.*, 1982; Catalano et al., 2013; Roure *et al.*, 1990; Nigro and Renda, 1999; Bello *et al.*, 2000; Accaino *et*

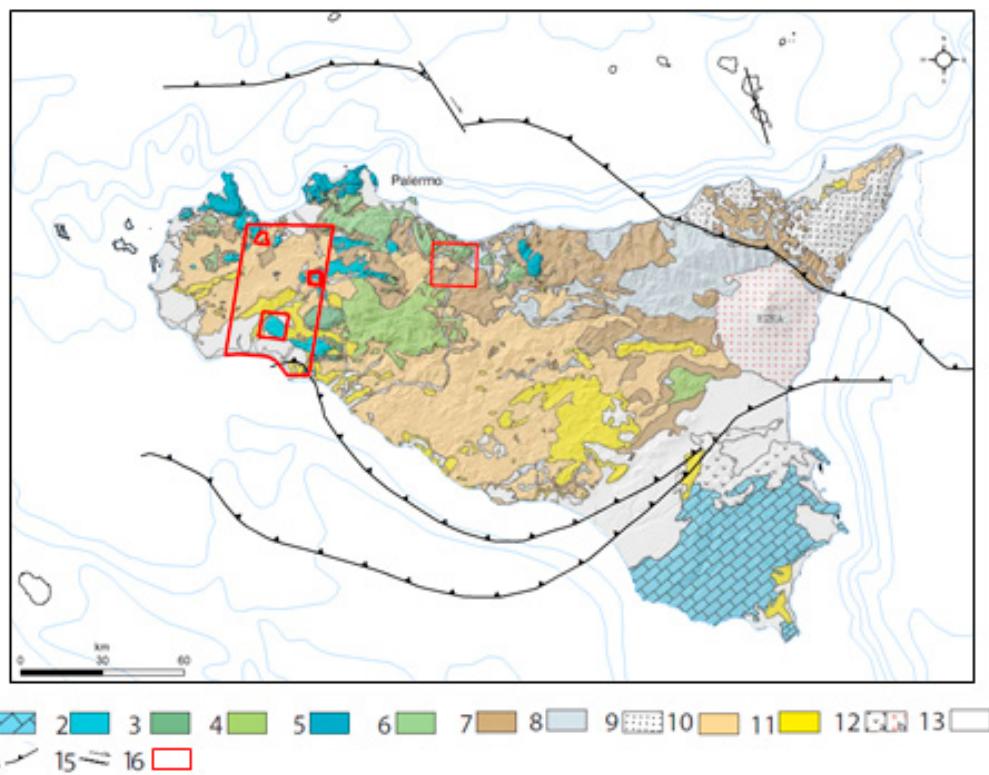


Figura 1.
Carta strutturale della Sicilia modificata da Catalano *et al.* (2010a) e Accaino *et al.* (2011). 1) Unità dell'avampaese Ibleo, 2) Unità carbonatiche Trapanesi e Saccensi, 3) Unità di Monte Genuardo, 4) Unità Sicane, 5) Unità carbonatiche Panormidi, 6) Unità Imeresi e Pre-Panormidi, 7) Unità dei flysch Miocenici, 8) Unità Sicilidi, 9) Unità cristalline Calabro-Peloritane, 10) Depositi sin-orogenici Mio—Pliocenici, 11) Depositi sin-tettonici Plio—Pleistocenici, 12) Vulcaniti Plio—Quaternarie; 13) Depositi Pleistocenici, 14) Thrust principali, 15) Faglie con componente strike-slip, 16) Aree di prospezione AEM

al., 2011) (*Figura 1*) è costituito da 3 elementi strutturali principali: i) l'avampaese, affiorante in Sicilia sud-orientale, ii) una stretta avanfossa, immersa verso Nord-Ovest, che si estende dall'altopiano Ibleo sino all'offshore meridionale della Sicilia e iii) la Catena, spessa a luoghi oltre 20 km (Catalano, 2013) costituita da un elemento Europeo (Unità Peloritane), un elemento Tetideo (Unità Sicilidi) e un elemento Africano (Unità Appenninico-Maghrebidi).

Le aree di studio sono situate in Sicilia Occidentale la cui evoluzione tettonica è stata dettagliatamente descritta da Catalano *et al.* (2002) e Catalano *et al.* (2010a). L'edificio tettonico è

costituito da un cuneo spesso 8-9 km di piattaforme carbonatiche imbricate (Unità Panormidi, Trapanesi e Saccensi), da un livello intermedio spesso 2-3 km di falde carbonatiche bacinali (Bacino Imerese e Sicano). Il livello strutturale superiore è costituito dai depositi silicoclastici del Bacino Numidico (Giunta, 1985) e dalle Unità Sicilidi. I depositi sin e post-tettonici Neogenico-Quaternari ricoprono l'edificio tettonico.

Come evidenziato dai risultati del Progetto VIGOR (Montanari *et al.*, 2014) le unità di piattaforma carbonatica ospitano un sistema idrotermale di bassa e media entalpia e rappresentano quindi il serbatoio geotermico regionale. ■

2. La prospezione EM elitrasportata

Nel 2011, nell'ambito delle prospezioni geofisiche previste dal Progetto VIGOR, è stata condotta una campagna elettromagnetica elitrasportata in Sicilia occidentale e in prossimità dei Monti di Trabia-Termini Imerese (*Figura 2a*). I dati AEM sono stati acquisiti con il sistema SkyTEM (Sørensen and Auken, 2004) su una superficie complessiva di circa 1.800 km².

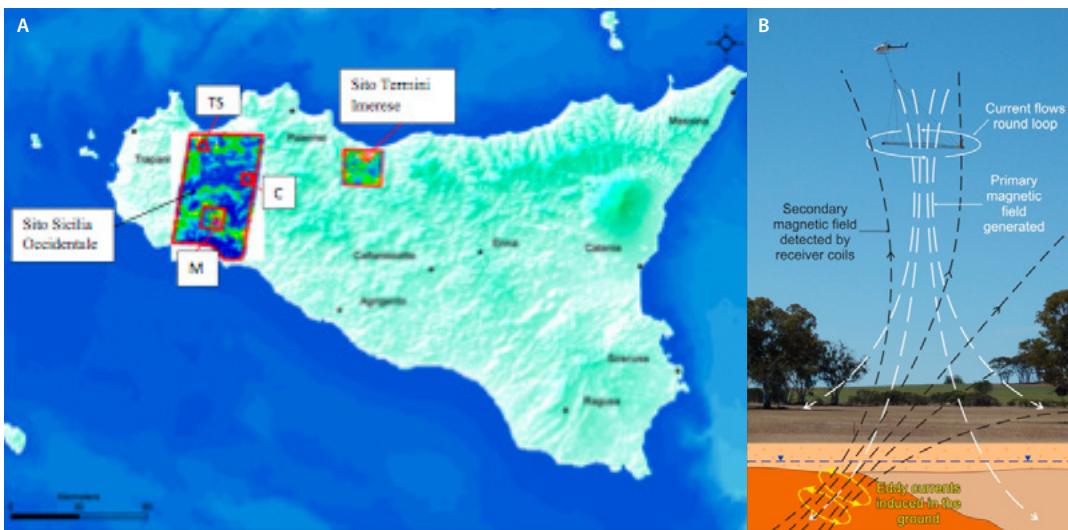
La campagna è stata eseguita con due differenti spaziature delle linee di volo: i) 1 km per la mappatura a scala regionale sul sito “Sicilia occidentale” e ii) 100-150 metri per le aree di dettaglio in prossimità delle principali aree termali ovvero Montevago (89 km²), Calatrasi (25 km²), Terme Segestane (17 km²) e Termini Imerese (300 km²).

I dati sono stati acquisiti dalla SkyTEM Surveys Aps, processati ed invertiti, per ottenere i modelli di resistività elettrica, dalla Aarhus Geophysics Aps e interpretati in chiave geotermica dal CNR-IGG.

SkyTEM è un sistema elettromagnetico nel dominio del tempo elitrasportato (*Figura 2b*), costituito da un loop trasmittente esagonale avente un’area di 314 m² e da un loop ricevente (componente z) posto 2 metri al di sopra del loop trasmittente, che misura in continuo il decadimento nel tempo dei campi magnetici secondari associati alle “eddy currents” indotte nel sottosuolo dalla brusca interruzione della corrente nel trasmettitore (Menghini *et al.*, 2012).

Grazie alla metodologia “dual moment” è stato possibile ottenere sia una buona risoluzione “near surface” sia una buona profondità di investigazione variabile da 50-70 metri sino ad oltre 250 metri, funzione anche della resistività delle formazioni nel sottosuolo. I dati sono stati pre-processati in campo mentre il processing finale è stato eseguito in laboratorio secondo la metodologia proposta da Auken *et al.* (2009) e invertiti usando

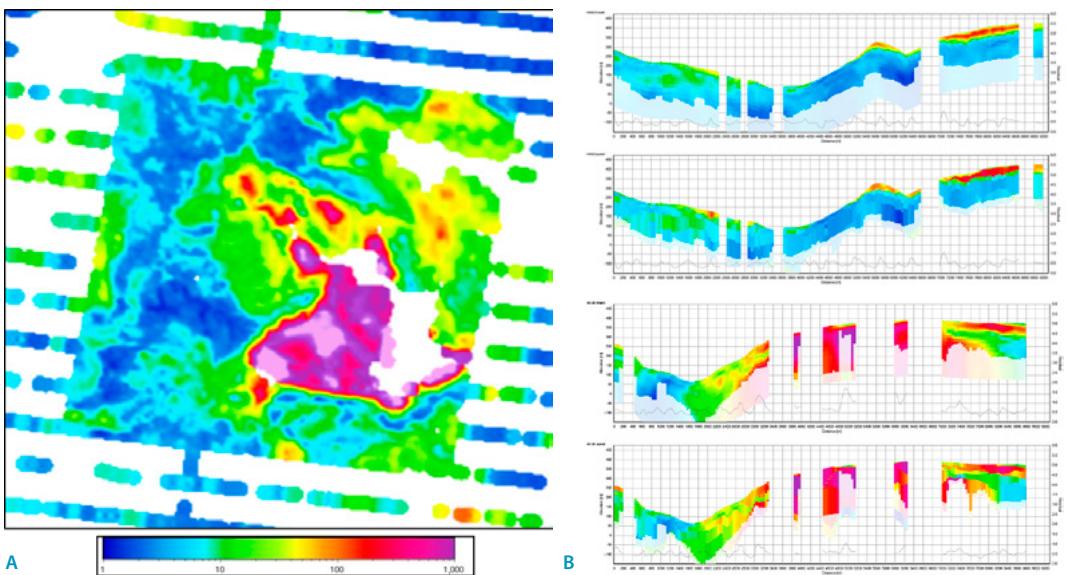
Figura 2.
 a) Mappe di resistività elettrica superficiale per i due siti “Sicilia occidentale” e “Termini Imerese”. In carta sono segnalate anche le aree di dettaglio: Montevago (M), Calatrasi (C) e Terme Segestane (TS).
 b) Funzionamento schematico di un sistema EM eltrasportato (Menghini *et al.*, 2012)



la “Spatially Constrained Inversion” descritta da Viezzoli *et al.* (2008). I risultati dell’inversione sono rappresentati da modelli tridimensionali di resistività elettrica di sottosuolo (X , Y , Z , ρ), sia

“smooth” sia “layered”. Da tali modelli 3D sono state estratte le sezioni di resistività e le mappe di resistività ogni 10 metri di profondità dal p.c. oppure in elevazione s.l.m. (Figura 3a-b). ■

Figura 3.
 a) Mappa di resistività superficiale dal sito Montevago, b) esempi di profili di resistività dal sito Montevago



3. Modeling 3D Geologico

I modelli geologici tridimensionali sono stati realizzati mediante l'analisi integrata dei dati di resistività “AEM” e dati geologici. I dati di base sono stati dapprima organizzati in ambiente GIS (ESRI ArcGIS) e quindi elaborati mediante il software di modellistica 3D “PETREL” (Schlumberger). A causa della mancanza di una cartografia geologica recente che coprisse l'intera area investigata, per i dati geologici di superficie sono state utilizzate diverse cartografie. Laddove disponibili sono stati presi in considerazione i Fogli alla scala 1:50.000 del Progetto CARG (sito web ISPRA), ovvero i Fogli 607 (Catalano *et al.*, 2010b), 608 (Catalano *et al.*, 2010c) e 609-596 (Catalano *et al.*, 2011) per le aree di Calatrasì e Termini Imerese. Per l'area di Montevago è stata utilizzata la Carta Geologica dei Monti Sicani Occidentali alla scala 1:50.000 (Di Stefano & Vitale, 1993) mentre per l'area di Terme Segestane è stata utilizzata la Carta geologica del Foglio 606 “Alcamo” della Carta 1:50.000 dell'I.G.M (Bommarito *et al.*, 1995). Per tutte le aree sono state comunque consultate le

cartografie geologiche esistenti alla scala 1:25.000 gentilmente concesse dalla Regione Sicilia. Tutte le informazioni cartografiche sono state quindi rielaborate ed omogeneizzate per poter ottenere una base geologica comune e verificata ad una scala comune di lavoro e rappresentazione.

Per quanto riguarda i dati di pozzo analizzati (ENEL *et al.*, 1988; sito web ISPRA; sito web VIDEPI; gentile concessione ENI S.p.A.), come già accennato in precedenza, pur essendo l'area di indagine particolarmente estesa, non è stato possibile reperire sufficienti dati in situ per poter operare un'azione di validazione rigorosa. Gli unici pozzi a disposizione ricadenti entro i confini delle 4 aree investigate sono:

- Cerdà 2, un pozzo profondo ad idrocarburi nell'area imerese che non ha fornito molte informazioni superficiali utilizzabili di nostro interesse,
- i pozzi M. Magaggiaro 1-2, Pianotta, Carbonaro e Chicchitello (la localizzazione geografica è approssimativa), interamente perforati entro

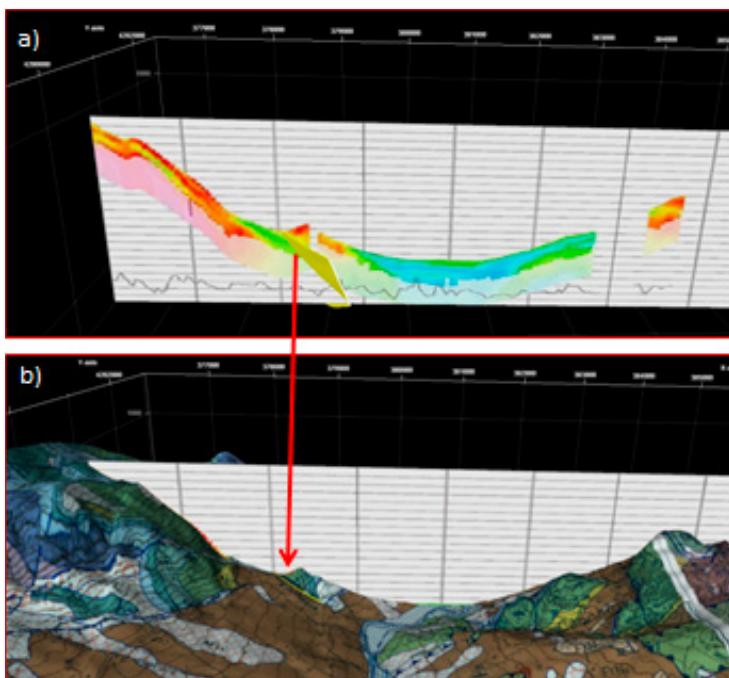


Figura 4.
a) Esempio di faglia del modello di Termini Imerese individuata in profondità mediante i dati di resistività (modificato da Santilano *et al.*, 2015). b) La faglia è inoltre segnalata nella carta geologica CARG Foglio "Termini Imerese-Capo Plaia" (Catalano *et al.*, 2011) come faglia transpressiva

- i carbonati mesozoici Saccensi dell'area di Montevago,
- il pozzo Costa di Ballo, situato nell'area delle Terme Segestane, risultato il pozzo migliore per tarare e validare le indagini geofisiche AEM ed associare alle litologie incontrate in pozzo i corrispondenti valori di resistività elettrica.

Sempre per le attività di validazione e taratura dei modelli lito-elettrici, sono stati analizzati pochi altri pozzi, di cui alcuni profondi ad idrocarburi con poche informazioni superficiali, situati nell'area "Sicilia occidentale" coperta dalla prospezione AEM a scala regionale.

È stata eseguita un'analisi comparata dei dati geologici superficiali, e laddove esistenti anche di sottosuolo, e dei dati AEM per poter discriminare i valori di resistività elettrica tipici delle litologie presenti nelle aree di interesse. Successivamente è stato possibile definire le Unità Lito-Elettriche (ULE) ovvero una formazione o un gruppo di formazioni geologiche con simili caratteristiche stratigrafiche ed elettriche. Considerando la

classificazione delle Unità LE, sono state costruite oltre 50 sezioni geologiche tarate sui profili di resistività elettrica e sulle poche informazioni lithostratigrafiche ottenute dai pozzi a disposizione.

Per ognuna delle quattro aree di dettaglio, i dati di input per la modellistica geologica 3D sono rappresentati da:

- DEM Topografia,
- cartografie e sezioni geologiche disponibili,
- profili di resistività elettrica,
- mappe di resistività elettrica in elevazione s.l.m. o in profondità dal p.c.,
- mappa di resistività elettrica superficiale,
- voxet di resistività elettrica,
- sezioni geologiche realizzate ad hoc e vii) vari elementi di corredo (quali ad esempio le sorgenti termali).

Seguendo uno dei flussi di lavoro di modellazione previsti dal software PETREL è stato inizialmente costruito lo "structural framework" ovvero l'insieme dei sistemi di faglie. Nei modelli sono state prese in considerazione soltanto le faglie più importanti in grado di dislocare più Unità LE. In alcuni casi l'indagine AEM, in corrispondenza di un importante contrasto di resistività elettrica tra le unità dislocate dalle faglie (Figura 4), ha permesso di riconoscere l'esistenza delle stesse in profondità contribuendo ad incrementare le conoscenze geologico-strutturali.

La fase successiva ha previsto la costruzione del tetto delle Unità LE per i quattro modelli 3D sulla base dei dati geologici e di resistività, impostando parametri di modellazione stratigrafici e tettonici (per esempio il raggio di influenza di una faglia).

Una volta ottenuto il tetto delle Unità è stato possibile costruire i modelli geologici 3D delle aree esaminate ovvero delle griglie con spaziatura delle celle orizzontale regolare (50 metri per i modelli di Termini Imerese, Calatrasi e Terme Segestane e 100 metri per il modello Montevago) e verticale variabile con una profondità fissa di

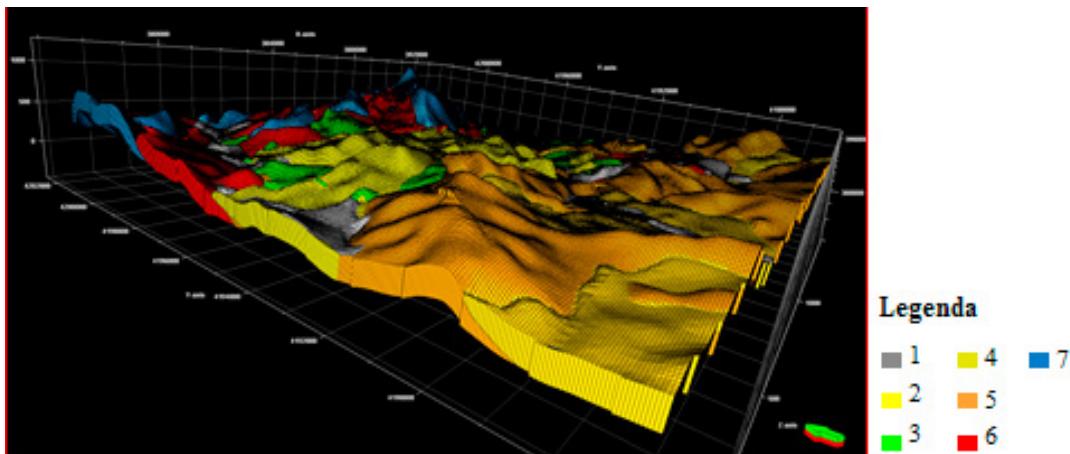


Figura 5.
Modello 3D Termini Imerese: 1) Depositi Quaternari, 2) Depositi Neogenici, 3) Dominio Sicilide, 4) Fm. Tavernola, 5) Flysch Numidico GS (membro di Geraci Siculo), 6) Flysch Numidico PC (membro di Portella Colla), 7) Dominio Imerese

250 metri dal p.c. Ad ogni cella individuata in ognuno dei modelli elaborati corrisponde la proprietà geologica coincidente con l'Unità LE di appartenenza, consentendo quindi di attribuire un valore termofisico specifico rappresentativo.

Ognuna delle celle che costituiscono i modelli può essere popolata con diverse proprietà. A titolo di esempio il modello dell'area di “Termini Imerese”, realizzato su una superficie di circa 300 km², è costituito da 1.692.705 celle (*Figura 5*). ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

4. Modeling Termofisico

Per la valutazione del potenziale di geoscambio, ai fini del dimensionamento di impianti di climatizzazione a pompe di calore in accoppiamento a sonde geotermiche di geoscambio (impianti geotermici a circuito chiuso), è essenziale poter disporre della caratterizzazione termofisica delle litologie interessate dagli scambi termici nel sottosuolo con particolare riferimento alla conducibilità termica (λ).

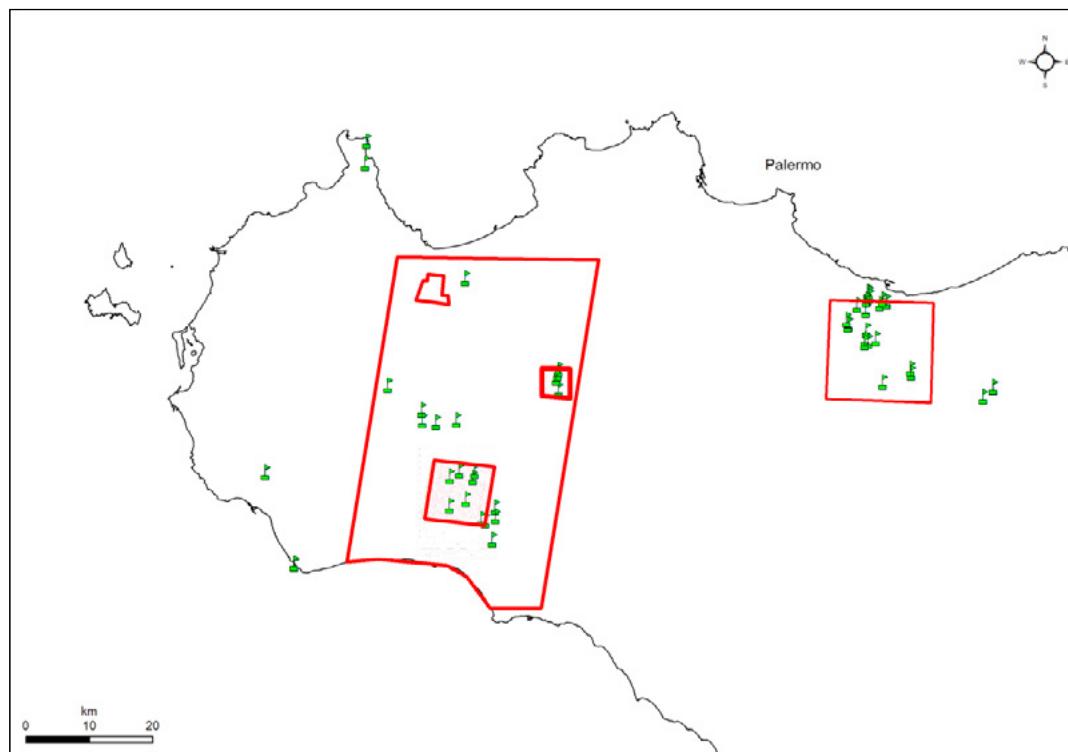
Al fine di misurare le proprietà termofisiche delle litologie che interessano l'area di studio sono stati raccolti oltre 70 campioni di roccia (*Figura 6*) su cui sono state eseguite misure dirette delle proprietà termiche (conducibilità termica), e fisiche (valori di porosità e densità) all'interno dei laboratori del CNR-IGG in collaborazione con il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova. Le misure di conducibilità termica (λ) sono state eseguite su campioni sia saturi sia anidri utilizzando due strumentazioni diverse basate rispettivamente sul metodo Modified Transient Plane Source (MTPS) e Transient Line Source

(TLS), particolarmente indicati il primo per i materiali litoidi e il secondo per i materiali non consolidati (Di Sipio *et al.*, 2014). Le analisi di laboratorio sono state condotte allo scopo di caratterizzare le principali proprietà termofisiche delle litologie più rappresentative per implementare i modelli geologici tridimensionali dedicati.

Oltre 20 tra i campioni totali a disposizione sono stati selezionati secondo criteri di rappresentatività per la misura della resistività elettrica presso due diversi laboratori, situati rispettivamente in Germania (Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University) ed in Norvegia (Norwegian Geotechnical Institute - NGI, Oslo), specializzati nella misura della conducibilità elettrica di materiali lapidei (**Appendice 1**).

Dato il limitato numero di campioni a disposizione per cui siano disponibili i dati delle proprietà sia fisiche che termiche ed elettriche, e l'impossibilità di riprodurre più volte sugli stessi le misure a causa dei metodi di tipo distruttivo utilizzati

Figura 6.
Localizzazione dei campioni di roccia prelevati per le misure dei parametri termofisici in laboratorio



nella loro preparazione, non è stato possibile al momento riconoscere, dai risultati delle prove eseguite, una relazione diretta tra conducibilità termica ed elettrica, richiedendo quindi ulteriori e futuri approfondimenti. Risulta tuttavia possibile riconoscere per alcune litologie una corrispondenza tra la resistività elettrica misurata in laboratorio con quella ottenuta in situ dalle prospettive AEM. Infatti, pur considerando la diversa scala di campione (sul campo ed in laboratorio), le diverse metodologie di caratterizzazione delle proprietà elettriche (EM ed elettriche) e di rappresentazione di campione (su una litologia specifica in laboratorio e mediando su volumi occupati da diverse litologie per le indagini in situ), una relazione diretta tra i valori assoluti ottenuti non è immediata. Tuttavia è stato possibile identificare, in alcuni casi e solo per alcune ULE, una correlazione tra i dati di resistività AEM e le misure su singoli campioni di roccia.

Si è quindi proceduto ad assegnare, per ogni

ULE, un valore di conducibilità termica (λ_{ULE}), rappresentativo e pesato, derivato dalle misure di laboratorio valutando i singoli contributi, in termini di spessore medio e tipo litologico, dei lito-tipi che compongono ogni formazione geologica.

In prima approssimazione, ad ogni formazione è stato assegnato un valore di conducibilità termica determinato mediando i valori di λ misurati in condizioni anidre, considerate cautelative, per i campioni lapidei, e in condizioni sature, considerate rappresentative della presenza di falde acquifere nel sottosuolo, per i sedimenti sciolti, costituenti la singola formazione. Pertanto risulta possibile derivare, sulla base dei modelli geologici descritti in precedenza, la distribuzione 3D della conducibilità termica nel sottosuolo.

Per definire la distribuzione areale del potenziale di geoscambio è stata creata una mappa raster in ogni caso studio di esplorazione, prendendo in considerazione per ogni cella (50x50 oppure 100x100 metri) la conducibilità termica

mediata sull'asse z (profondità).

Queste mappe di conducibilità termica sono state realizzate sia in ambiente PETREL, sulla base dei modelli 3D termofisici, sia ricostruendo una sorta di pozzi virtuali, la cui posizione assegnata corrisponde alle coordinate geografiche del centro di ogni cella. In quest'ultimo caso è stato utilizzato uno specifico toolbox di MATLAB chiamato Modalstrata, ideato e perfezionato dal Gruppo di ricerca in Geotermia del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova,

adottando un approccio di modellazione basato sulla valutazione locale della distribuzione della moda delle specie geologiche (in questo caso lito-elettriche) del sottosuolo, in grado di fornire le mappe di conducibilità termica del terreno equivalente e il corrispondente significato statistico-geometrico (Cultrera *et al.* 2012; Di Sipio et al 2014; Albanese *et al.* 2014). Nei quattro siti di interesse si è considerato uno spessore della colonna lito-elettrica pari a 250 m di profondità dal p.c. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

5. Potenziale di geoscambio e prodotti finali

Nell'ambito del progetto VIGOR il processo precedentemente descritto è stato sviluppato allo scopo di generare mappe di potenziale di scambio termico del sottosuolo relativo all'impiego di sistemi geotermici di geoscambio (impianti di climatizzazione con pompe di calore geotermiche a circuito chiuso). Per dettagli sulle tipologie d'impianto si rimanda ai volumi “*VIGOR: Prime indicazioni tecnico-prescrittive in materia di impianti di climatizzazione geotermica*”, Botteghi *et al.* 2014, e “*VIGOR: Applicazioni geotermiche per uno sviluppo sostenibile. Produzione di calore ed energia elettrica*”, Abate *et al.* 2014.

Il metodo qui proposto utilizza informazioni sia geologiche sia tecnologiche per determinare il potenziale di geoscambio, ovvero la quantità massima di energia termica che può essere scambiata con il sottosuolo per unità di superficie, ipotizzando l'impiego di un impianto di climatizzazione

geotermico a circuito chiuso dedicato ad asservire una unità immobiliare standard. La modellazione spaziale viene effettuata in un sistema di informazione geografica (GIS) consentendo di disporre di uno strumento cartografico digitale di facile utilizzo che permette il rapido aggiornamento dei risultati contestualmente all'incremento dei nuovi dati (geologici, termici, e geofisici) acquisiti nel corso del tempo in ognuna delle aree di interesse.

La metodologia di calcolo utilizzata è quella sviluppata nell'ambito del progetto VIGOR e descritta in dettaglio nel volume “*VIGOR: Sviluppo geotermico nelle Regioni della Convergenza*” parte I “*La valutazione del potenziale geotermico*” (Albanese *et al.* 2014). Il risultato dell'elaborazione, rappresentato graficamente come carta del potenziale di geoscambio, permette di differenziare le aree di studio confrontandone la capacità di cedere e ricevere calore.

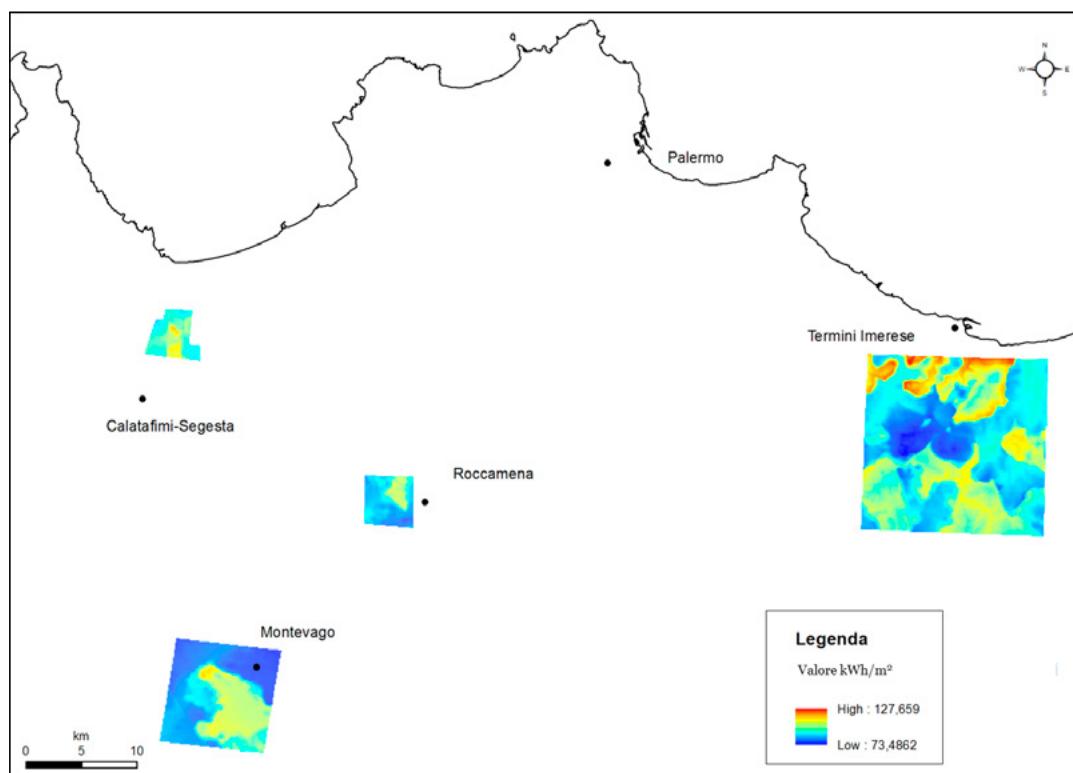
Nel caso di sistemi a circuito chiuso, questa capacità è stata considerata in diretta relazione con la lunghezza e il numero di sonde geotermiche verticali impiegate ed accoppiate ad un sistema a pompe di calore dedicate a climatizzare volumi standard. Questi parametri risentono a loro volta fortemente delle caratteristiche geologiche del sottosuolo, che, costituendo la componente invariante del sistema, rappresentano il vincolo naturale a cui adeguare i possibili utilizzi. Il parametro di input più importante per la redazione della carta del potenziale di geoscambio è costituito dalla distribuzione areale della conducibilità termica media equivalente ottenuta secondo la metodologia precedentemente descritta. Le mappe di λ_{ULE} sono state successivamente combinate con quelle della temperatura media annua dell'aria, del flusso di calore superficiale e della temperatura a 50 metri di profondità dal p.c. La combinazione di tali informazioni consente di derivare mediante un

procedimento analitico di tipo empirico il parametro relativo alla lunghezza delle sonde geotermiche che dipende da vari fattori tra cui le caratteristiche del terreno e del clima locale, una volta fissata la tipologia di edificio.

Il calcolo proposto consente di ottenere infine la stima del rapporto "Eg/Sg" (unità di misura kWh/m^2) tra l'energia termo-frigorifera specifica scambiabile (Eg) e l'unità di superficie considerata (Sg) ovvero la stima del potenziale di geoscambio.

Le mappe di potenziale prodotte in questo studio forniscono una chiara indicazione delle diverse idoneità del terreno allo scambio termico e quindi all'impiego delle soluzioni geotermiche a circuito chiuso per la climatizzazione degli edifici (*Figura 7*). Esse hanno una risoluzione di gran lunga superiore a quella delle mappe prodotte a livello regionale e forniscono informazioni di dettaglio estremamente utili alla pianificazione di impianti.

Figura 7.
Carte del potenziale
di geoscambio



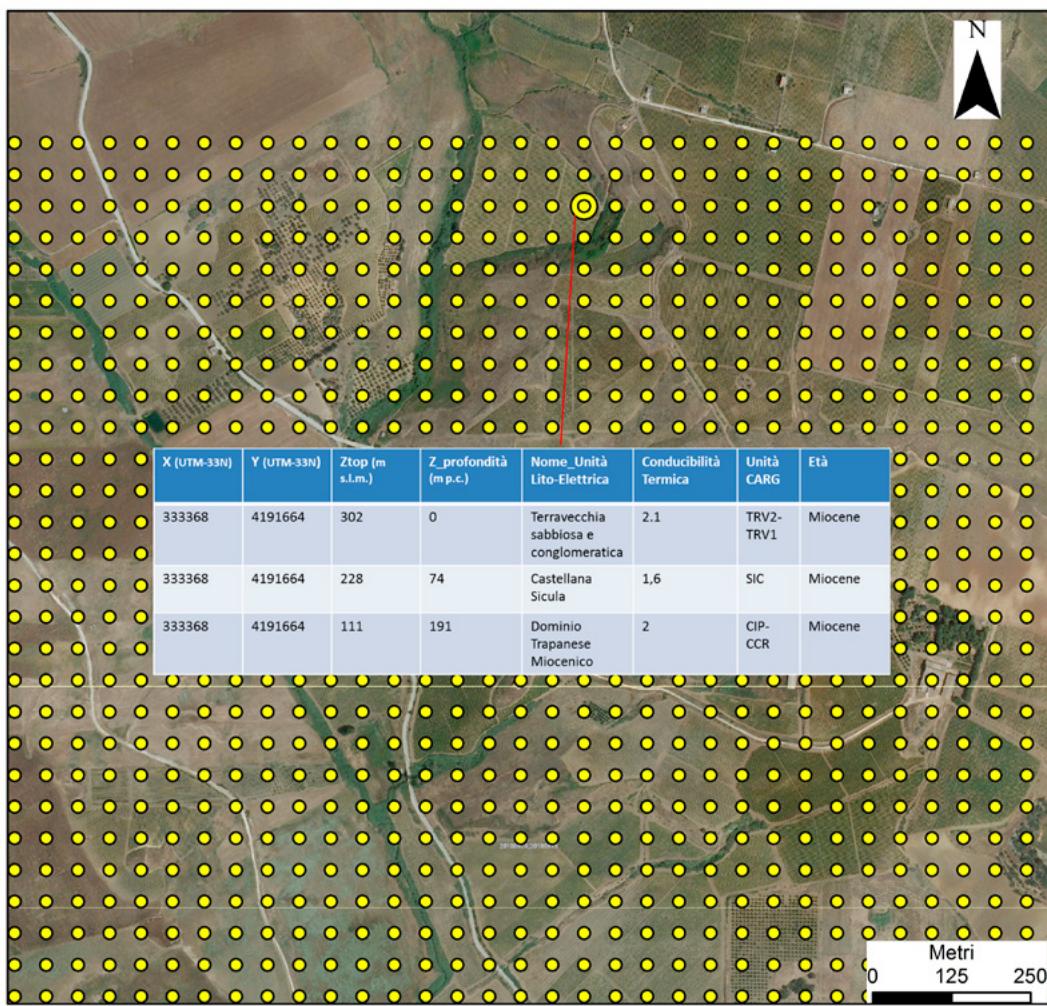


Figura 8.
Esempio di stratigrafia dal modello 3D dell'area Calatrasi consultabile sul webGIS del Progetto VIGOR. La tabella contiene informazioni riguardo le coordinate del profilo, le quote del tetto delle varie unità che si rinviengono nella colonna stratigrafica selezionata (sia in elevazione s.l.m. sia in profondità dal p.c.). Per ogni unità litoelettrica vengono elencate le unità stratigrafiche (secondo la classificazione CARG) che la compongono ed il corrispondente valore di conducibilità termica

Le mappe del potenziale di geoscambio sono consultabili tramite il portale WebGIS del progetto (sito web VIGOR <http://www.vigorgeotermia.it>, alla pagina “prodotti”).

Le mappe sono in formato raster e forniscono per ogni cella il valore di energia termica scambiata con il terreno.

Oltre alle mappe, sempre fornite tramite il portale webGIS, è possibile consultare liberamente le stratigrafie dei modelli tridimensionali prodotti, rappresentate come file vettoriali puntuali.

Per ogni elemento puntuale delle mappe è possibile visualizzare la profondità del tetto delle Unità Lito-Elettriche, le unità stratigrafiche che le costituiscono ed il valore di conducibilità termica (*Figura 8*).

I risultati prodotti ed in generale la metodologia proposta costituiscono un valido supporto per la pianificazione energetica del territorio ed in particolare per la promozione all'utilizzo di tecnologie dotate di forte carattere di rinnovabilità quali quelle geotermiche. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Bibliografia di riferimento

Articoli

Abate S., Botteghi S., Caiozzi F., Desiderio G., Di Bella G., Donato A., Lombardo G., Manzella A., Santilano A., Sapienza A. (2014). *VIGOR: Applicazioni geotermiche per uno sviluppo sostenibile. Produzione di calore ed energia elettrica.* Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, CNR-IGG, ISBN: 9788879580120.

Accaino, F., Catalano, R., Di Marzo, L., Giustiniani, M., Tinivella, U., Nicolich, R., Sulli, A., Valenti, V., Manetti, P., 2011. *A crustal seismic profile across Sicily.* Tectonophysics 508, 52-61.

Albanese, C., Allansdottir, A., Amato, L., Ardizzone, F., Bellani, S., Bertini, G., Botteghi, S., Bruno, D., Caielli, G., Caiozzi, F., Caputi, A., Catalano, R., Chiesa, S., Contino, A., d'Arpa, S., de Alteriis, G., De Franco, R., Dello Buono, D., Destro, E., Di Sipio, E., Donato, A., Doveri, M., Dragone, V., Ellero, A., Fedi, M., Ferranti, L., Florio, G., Folino, M., Galgaro, A., Gennaro, C., Gianelli G., Giaretta A., Gola, G., Greco, G., Iaquinta, P., Inversi, B., Iorio, M., Iovine, G., Izzi, F., La Manna, M., Livani, M., Lombardo, G., Lopez, N., Magnelli, D., Maio, D., Manzella, A., Marchesini, I., Martini, G., Masetti, G., Mercadante, A., Minissale, A., Montanari, D., Montegrossi, G., Monteleone, S., Muto, F., Muttoni, G., Norini, G., Pellizzone, A., Perotta, P., Petracchini, L., Pierini, S., Polemio, M., Rizzo, E., Russo, L., Sabatino, M., Santaloia, F., Santilano, A., Scrocca, S., Soleri, S., Tansi, C., Terranova, O., Teza, G., Tranchida, G., Trumpy, E., Uricchio, V. e Valenti, V., (2014): *VIGOR: Sviluppo geotermico nelle Regioni della Convergenza.* Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, CNR-IGG, ISBN: 9788879580113.

Auken, E., Christiansen, A. V., Westergaard, J. H., Kirkegaard, C., Fopged, N., Viezzoli, A. (2009), *An integrated processing scheme for high-resolution airborne electromagnetic surveys, the SkyTEM system: Exploration Geophysics*, 40, 184-192.

Bello, M., Franchino, A., Merlini, S., 2000. *Structural model of eastern Sicily.* Memorie della Società Geologica Italiana 55, 61-70.

Botteghi S., Chiesa S., Destro E., Di Sipio E., Galgaro A., Manzella A., e Montanari D. (2012). *VIGOR: Prime indicazioni tecnico-prescrittive in materia di impianti di climatizzazione geotermica.* Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, CNR – IGG, ISBN: 9788879580106.

Catalano, R., 2013. Sicily's fold/thrust belt. An introduction to the field trip. In: Catalano, R., Agate, M., Albanese, C., Avellone, G., Basilone, I., Morticelli, G.M., Gugliotta, C., Sulli, A., Valenti, V., Gibilaro, C., Pierini, S. *Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt.* AAPG International Conference & Exhibition – Milan 2011 Geological field trips Vol.318 5 No.2.3, pp 16 of 32.

Catalano, R., D'Argenio, B., 1982: *Schema geologico della Sicilia*. In: Catalano R., & D'Argenio B., (eds): Guida alla geologia della Sicilia occidentale. Società Geologica Italiana, Palermo

Catalano R, Avellone G, Basilone L, Morticelli, G.M., Lo Cicero G., (2010a) *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia* alla scala 1:50.000 foglio 608 Caccamo. (I.S.P.R.A., Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG, 2010).

Catalano, R., Valenti, V., Albanese, C., Accaino, F., Sulli, A., Tinivella, U., Morticelli M. G., Zanolla, C., Giustiniani, M., 2013: *Sicily's fold-thrust belt and slab roll-back: the SI.RI.PRO. seismic crustal transect*. Journal of the Geological Society, 170, 451–464. doi:10.1144/jgs2012-099.

Culturra, M., Antonelli, R., Teza, G., Castellarro, S., 2012. *A new hydrostratigraphic model of Venice area (Italy)*. Environmental Earth Sciences 66(4), 1021-1030, doi: 10.1007/s12665-011-1307-2.

Di Sipio, E., Galgaro, A., Destro, E., Teza, G., Chiesa, S., Giaretta, A., Manzella, A. (2014): *Subsurface thermal conductivity assessment in Calabria (southern Italy): a regional case study*. Environmental Earth Sciences, 72 (5), 1383–1401, doi: 10.1007/s12665-014-3277-7.

ENEL, ENI-AGIP, CNR, ENEA, 1988. *Inventario delle risorse geotermiche nazionali – Indagine d'insieme sul territorio nazionale*. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (attualmente Ministero dello Sviluppo Economico), 75 pp.

Menghini, A., Viezzoli, A., 2012, *Il metodo Airborne EM: un approccio innovativo allo studio del territorio: Geologia Tecnica e Ambientale*, 1/2012, 62-77.

Montanari, D., Albanese, C., Catalano, R., Contino, A., Fedi, M., Gola, G., Iorio, M., La Manna, M., Monteleone, S., Trumpy, E., Valenti, V., Manzella, A. (2014): *Contour map of the top of the regional geothermal reservoir of Sicily (Italy)*. Journal of Maps, DOI:10.1080/17445647.2014.93550.

Nigro, F., Renda, P., 1999: *Evoluzione geologica ed assetto strutturale della Sicilia centro-settentrionale*. Bollettino Società Geologica Italiana 118, 375-388.

Roure, F., Howell, D.G., Müller, C., Moretti, I., 1990: *Late Cenozoic subduction complex of Sicily*. Journal of Structural Geology 12, 259– 266.

Santilano A., Manzella A., Donato A., Montanari D., Gola G., Di Sipio E., Destro E., Giaretta A., Galgaro A., Teza G., Viezzoli A., Menghini A., (2015): *Shallow Geothermal Exploration by Means of SkyTEM Electrical Resistivity Data: An Application in Sicily (Italy)*. In: G. Lollino et al. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Volume 1, chapter 69, Springer International Publishing Switzerland 2015, DOI: 10.1007/978-3-319-09300-0_69.

Soldal, M., Johnsen, Ø., Bohloli, B., (2014): *Measurement of Rock Resistivity*. Norwegian Geotechnical Institute (NGI), Factual report for Institute of Geosciences and Earth Resources (IGG) National Research Council of Italy (CNR).

Sørensen, K. I. and Auken, E., 2004, *SkyTEM - A new high-resolution helicopter transient electromagnetic system*: Exploration Geophysics, 35, 191-199.

Viezzoli, A., A. V. Christiansen, E. Auken, and K. Sørensen (2008), *Quasi-3D modeling of airborne TEM data by spatially constrained inversion*, Geophysics, 73, F105-F113.

Cartografia

Bommarito S., Bonni R.M., Di Pietro R., (1995): *Carta geologica del Foglio 606 "Alcamo" della Carta 1:50.000* dell'I.G.M. Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Geologia e Geodesia.

Catalano R, Avellone G, Basilone L, Sulli, A., (2010b): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 607 "Corleone"*. (I.S.P.R.A., Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG, 2010).

Catalano R, Avellone G, Basilone L., (2010c): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 608 "Caccamo"*. (I.S.P.R.A., Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG, 2010).

Catalano R, Avellone G, Basilone L, Contino A., (2011): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 609-596 "Termini Imerese—Capo Plaia"*. (I.S.P.R.A., Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG, 2011).

Di Stefano P, and Vitale F., 1993: *Carta Geologica dei Monti Sicani Occidentali alla scala 1:50.000*, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Geologia e Geodesia.

Siti Web

ISPRA: <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/> ultimo accesso settembre 2014.

VIDEPI: <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/videpi/>

VIGOR: <http://www.vigor-geotermia.it>, ultimo accesso ottobre 2014

pagina lasciata intenzionalmente vuota

Appendice

Appendice 1 *Analisi delle proprietà fisiche dei campioni*.....162

Confrontando i risultati ottenuti nei diversi laboratori per le proprietà elettriche e termiche dei materiali rocciosi campionati, si possono riconoscere, in via preliminare, alcune tendenze di comportamento. Tuttavia, dato l'esiguo numero di campioni a disposizione rispetto all'estensione areale delle zone oggetto di interesse del rilevamento AEM, si ricorda che le valutazioni qui presentate sono indicative e che nel prossimo futuro è auspicabile incrementare il numero di campioni a disposizione per ottenere dei valori statisticamente significativi e confrontabili.

1.1 Analisi delle proprietà elettriche

Dal punto di vista elettrico, pur avendo usato

metodologie diverse, i valori relativi di resistività elettrica (ρ) possono essere suddivisi in quattro classi principali:

- $\rho \geq 10.000 \text{ Ohm m}$;
- $1.000 \leq \rho < 10.000 \text{ Ohm m}$;
- $100 \leq \rho < 1.000 \text{ Ohm m}$;
- $\rho < 100 \text{ Ohm m}$ (*Figura 9*).

Alla prima e alla seconda classe appartengono dei campioni rocciosi molto compatti, quali, nel primo caso, una calcilutite del Trias (PA06), e, nel secondo, quattro campioni di calcari e uno di breccia dolomitica databili dal Giurassico al Cretaceo superiore ed un unico esemplare di travertino olocenico (PA26.2).

Elenco dei campioni di roccia su cui sono state effettuate analisi sia di conducibilità termica sia di resistività elettrica nei laboratori del CNR-IGG, dell'Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy (E.ON Energy Research Center, RWTH) dell'Università di Aachen in Germania e del Norwegian Geotechnical Institute - NGI, ad Oslo in Norvegia (Søldal et al., 2014)

Campione	Litologia	Porosità (%)	Densità (g/cm³)	Resistività (Ohm/m)	λ (W/mK)	
					dry	wet
PA01	calcare	1,60	2,67	2.473	2,60	3,39
PA01T (01.2)	calcare	0,55	2,69	3.490	3,59	3,44
PA02	breccia dolomitica	1,94	2,78	5.106	4,86	5,58
PA06	calcilutite	0,90	2,69	18.218	2,36	3,25
PA13	calcare	1,34	2,66	470	2,83	3,66
PA15	calcare	0,95	2,68	2.176	3,49	3,33
PA19	arenaria	16,90	2,25	151	2,21	1,72
PA22	calcarenite (Marsala)	20,53	2,03	376	1,28	2,43
PA26 (26.2)	travertino	7,84	2,38	1.919	2,09	2,70
AG35I (35.1)	calcare marnoso	25,12	1,95	65	2,00	
AG35T (35.1bis)	calcare marnoso	35,75	1,74	89	1,07	
MO4	calcare	15,67	2,27	342	2,08	
MO6	calcare	1,89	2,61	6.186	2,45	
TE1	calcare marnoso	1,19	2,68	454	2,17	
PA21	arenaria	6,67	2,50	80	2,08	3,42
PA20	argilla	>40	0,88	no	0,25	2,20
TE4	arenaria	14,93	2,25	176	3,08	
TE5	arenaria	11,12	2,34	167	3,20	
MO9	calcare	24,32	2,04	364	1,57	
MO2	calcare	28,79	1,94	144	1,69	
PA09	gesso	18,28	1,83	no	1,60	2,52
PA17	arenaria	10,47	2,33	94	2,34	3,02

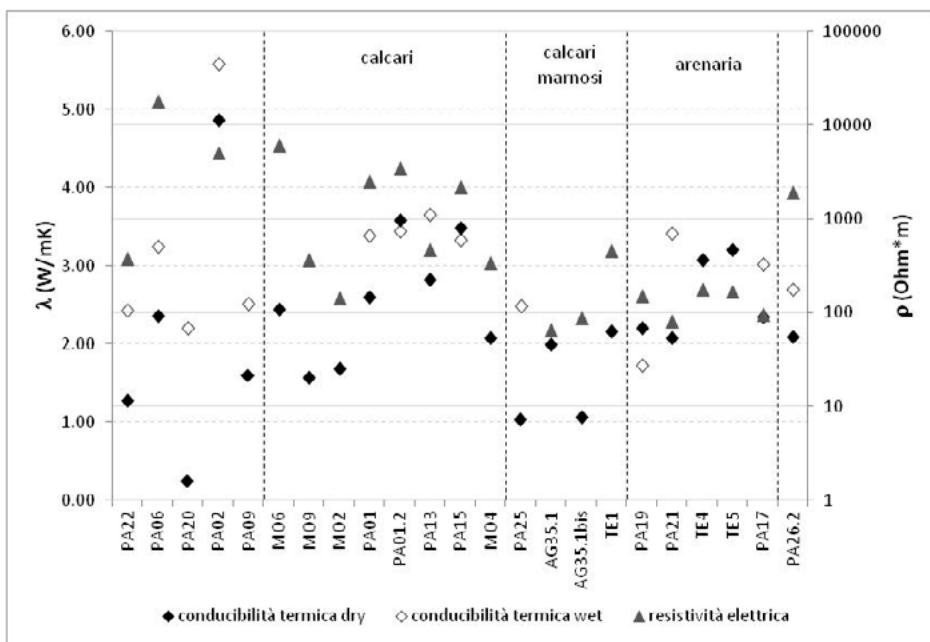


Figura 9.
Relazione tra misure di conducibilità termica in condizioni anidre e sature e di resistività elettrica (asse dei valori in scala logaritmica) per i campioni a disposizione

La terza e la quarta classe, invece, sono caratterizzate da campioni tendenzialmente porosi costituiti da calcari, calcari marnosi, calcareniti, arenarie, gessi e argille riconducibili ad epoche geologiche comprese tra Eocene e Pleistocene.

Al diminuire della resistività elettrica sembrano corrispondere campioni progressivamente più recenti, con l'unica eccezione del travertino, che, formatosi per precipitazione, è in realtà piuttosto compatto anche se dotato di una porosità del 7,84%.

Invece, nell'intervallo di valori inferiore a 1.000 Ohm m, che comprende più del 50% dei campioni a disposizione, si riscontrano porosità in genere maggiori al >5%, escludendo due campioni (PA13 e TE1, un calcare e un calcare marnoso rispettivamente dell'Eocene e dell'Oligocene) i cui valori non superano il 2%.

Per tre campioni PA09, PA20, PA25 non è stato possibile rilevare i valori di resistività elettrica in laboratorio a causa di difficoltà tecniche nell'esecuzione della misura e/o alla distruzione del campione stesso durante le fasi di acquisizione.

1.2 Analisi delle proprietà termiche

Le analisi di conducibilità termica sono state eseguite in condizioni anidre per tutti i campioni e in condizioni sature per circa il 60% dei campioni (Figura 9). Per minimizzare gli effetti legati alla presenza di anisotropia, sono state considerate le misure effettuate in condizioni perpendicolari alla stratificazione, generalmente inferiori a quelle acquisite parallelamente ad essa e, pertanto, cautelative.

I valori di conducibilità termica (λ) acquisiti in condizioni anidre possono essere suddivisi in quattro classi principali, in cui è possibile riconoscere l'influenza della componente mineralogica e della porosità dei materiali:

- $\lambda \geq 4 \text{ W/mK}$;
- $3 \leq \lambda < 4 \text{ W/mK}$;
- $2 \leq \lambda < 3 \text{ W/mK}$;
- $\lambda < 2 \text{ W/mK}$ (Figura 9).

Le prime due classi includono campioni litologici di dolomia, calcare e arenaria con porosità rispettivamente inferiore al 2%, all'1% e al 15%.

Gli alti valori di λ riscontrati per i calcari giurasici, le arenarie ricche nella componente quarzosa e la dolomia trovano riscontro con i dati riportati generalmente in letteratura. Inoltre, in condizioni sature, le misure eseguite su dolomia e calcare mostrano un generale incremento dei valori, a volte impercettibile in presenza di porosità inferiore all'1%. Il terzo e il quarto raggruppamento interessano materiali litologicamente differenti (calcaro, calcari marnosi, arenarie, travertino, calcilutite, gesso), appartenenti a diverse epoche geologiche (dal Cretaceo al Pleistocene), caratterizzati da valori di porosità medi intorno al 14%

che consentono di apprezzare, quando disponibile, l'incremento dei valori misurati in condizioni sature. Una relazione diretta tra conducibilità termica e resistività elettrica a scala di laboratorio non è al momento individuata in modo chiaro.

A scala regionale, invece, risulta piuttosto evidente una certa correlazione tra questi due parametri, probabilmente riconducibile ai contributi "medi" di grandi volumi di terreno sulle proprietà elettriche del sottosuolo caratteristica delle indagini a macroscala condotte in situ, come descritto in precedenza, tramite metodologia AEM ed alla presenza di falde acquifere. ■

pagina lasciata intenzionalmente vuota



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Ministero
dello Sviluppo Economico



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Valutazione del potenziale geotermico delle Regioni della Convergenza
www.vigor-geotermia.it

AUTORITÀ DI GESTIONE



Direzione generale
per il mercato elettrico,
le rinnovabili e l'efficienza
energetica, il nucleare

Ministero
dello Sviluppo Economico

DG MEREN

ORGANISMI INTERMEDI



Direzione generale
per gli incentivi
alle imprese

Ministero
dello Sviluppo Economico

DG IAI



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

DG SEC

REGIONI DELLA CONVERGENZA



ISBN 978-88-7958-017-5



9 788879 580175