



# IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "CASTEL GIORGIO"

## RELAZIONE TECNICA PER L'OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE A1.P

Progetto No. P23\_ITW\_044

Doc. No. P23044-X-RL-03-0

REV.	DATA	PREPARATO DA	CONTROLLATO DA	APPROVATO DA
0	28-Mar-2024	R. Brogi	L. Favaro	P. Basile

Preparato per: ITW&LKW Geotermia Italia S.p.a.

**ITW LKW**  
ITW LKW GEOTERMIA ITALIA S.p.A.

STEAM srl  
Via Ponte a Piglieri 8  
Pisa 56121  
ITALY  
VAT no. IT01028420501

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE .....	1
2	PROGETTO GEOTERMICO PILOTA “CASTEL GIORGIO” .....	2
3	METODO UTILIZZATO .....	6
3.1	METODO DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI TEMPERATURA NEL PENNACCHIO: METODO HALITSKY (1968) .....	6
3.2	MODELLO DI CALCOLO DELLA DIFFUSIONE .....	8
4	SCENARIO IPOTIZZATO .....	0
5	RISULTATI DELLA SIMULAZIONE .....	1
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVI .....	4

## INDICE FIGURE

Figura 2.a	Inquadramento opere impianto geotermico pilota “Castel Giorgio” su base IGM....	3
Figura 2.b	Inquadramento opere impianto geotermico pilota “Castel Giorgio” su base Ortofoto .....	4
Figura 5.a	Variazione della temperatura ambiente in funzione della distanza dagli aerotermini .	1
Figura 5.b	Localizzazione dei potenziali ricettori nel raggio di 3 km dall’impianto ORC.....	2

## INDICE TABELLE

Tabella 2.a	Caratteristiche tecnico progettuali.....	5
Tabella 3.2.a	Condizioni Meteorologiche Considerate nel Modello Eseguito con SCREEN3. ....	9
Tabella 4.a	Bilanci di energia dell’Impianto ORC.....	0
Tabella 4.b	Sintesi dei parametri d’ingresso utilizzati .....	0

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento è redatto al fine di ottemperare alla prescrizione ambientale A.1 lettera p). presente nel D.M. n. 59 del 03/04/2015, emesso nell'ambito del procedimento di VIA Ministeriale del progetto pilota geotermico "Castel Giorgio".

Di seguito si riporta la prescrizione:

*"A1. p) Inquinamento termico: prima dell'entrata in funzione dell'impianto dovrà essere presentata ad ARPA Umbria ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, una modellazione dell'incremento di temperatura che si prevede di misurare sulla linea di confine della centrale e sui recettori sensibili più vicini."*

L'ottemperanza a tale prescrizione risulta propedeutica all'inizio delle attività.

## 2 PROGETTO GEOTERMICO PILOTA "CASTEL GIORGIO"

L'impianto geotermoelettrico pilota "Castel Giorgio" permetterà la coltivazione della risorsa geotermica attraverso l'impiego di tecnologie avanzate tali da garantire i più elevati standard ambientali, con emissioni di processo nulle, mediante la totale reiniezione dei fluidi, ivi inclusi i gas naturalmente presenti, nelle formazioni geologiche di provenienza.

Progetti analoghi sono già stati realizzati in altri contesti europei, come Germania, Croazia e Portogallo, e rappresentano un esempio di come la risorsa geotermica possa contribuire a migliorare il mix energetico da fonti rinnovabili con l'applicazione di tecnologie a ridotto impatto ambientale.

Il progetto pilota "Castel Giorgio" prevede la realizzazione di un circuito ("loop") tra un polo di produzione e uno di reiniezione. Il fluido geotermico verrà portato a giorno attraverso i pozzi di produzione e convogliato alla centrale di conversione energetica a ciclo binario (di seguito chiamato impianto ORC, acronimo di Organic Rankine Cycle), laddove in un sistema chiuso costituito principalmente da scambiatori, cederà calore ad un opportuno fluido di lavoro per la successiva produzione di energia elettrica. Il fluido geotermico più freddo verrà completamente reiniettato, mediante i pozzi di reiniezione, nello stesso serbatoio profondo di provenienza.

L'impianto geotermico pilota "Castel Giorgio" sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- N.5 pozzi di produzione di cui tre verticali e due devianti, dotati ciascuno di pompa di sollevamento, da realizzarsi in n. 3 differenti postazioni, denominate CG1, CG2 e CG3;
- Un sistema di tubazioni di convogliamento che consentirà di condurre il fluido caldo dai pozzi fino all'impianto ORC;
- L'impianto ORC, che consentirà la produzione di energia elettrica attraverso il recupero di calore dal fluido geotermico;
- N. 4 pozzi di reiniezione di cui uno verticale e tre devianti, da realizzarsi nella postazione CG14;
- Una tubazione di collegamento dell'acqua raffreddata in uscita dall'impianto ORC sino ai pozzi di reiniezione.
- La possibilità di "stacco" per il prelievo dell'acqua calda, sia a monte che a valle dell'impianto ORC per alimentazione di eventuali utenze termiche.

La localizzazione delle opere in progetto è riportata su base IGM nella Figura 2.a e su ortofoto nella Figura 2.b.

Figura 2.a Inquadramento opere impianto geotermico pilota "Castel Giorgio" su base IGM 25.000

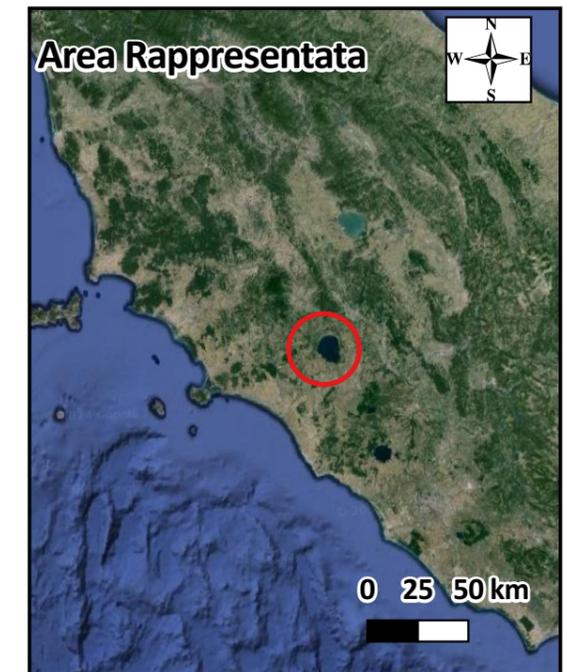
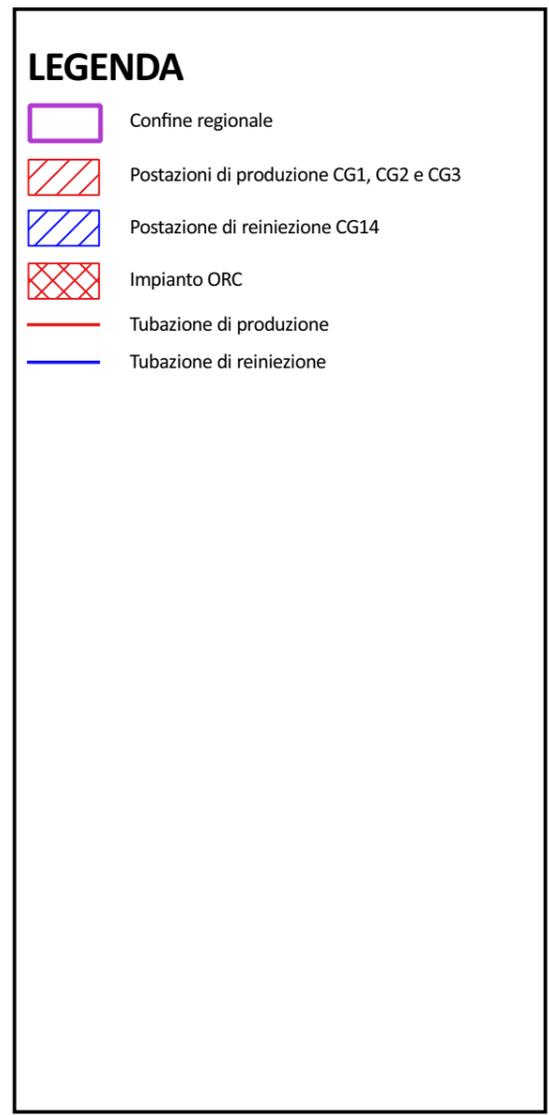
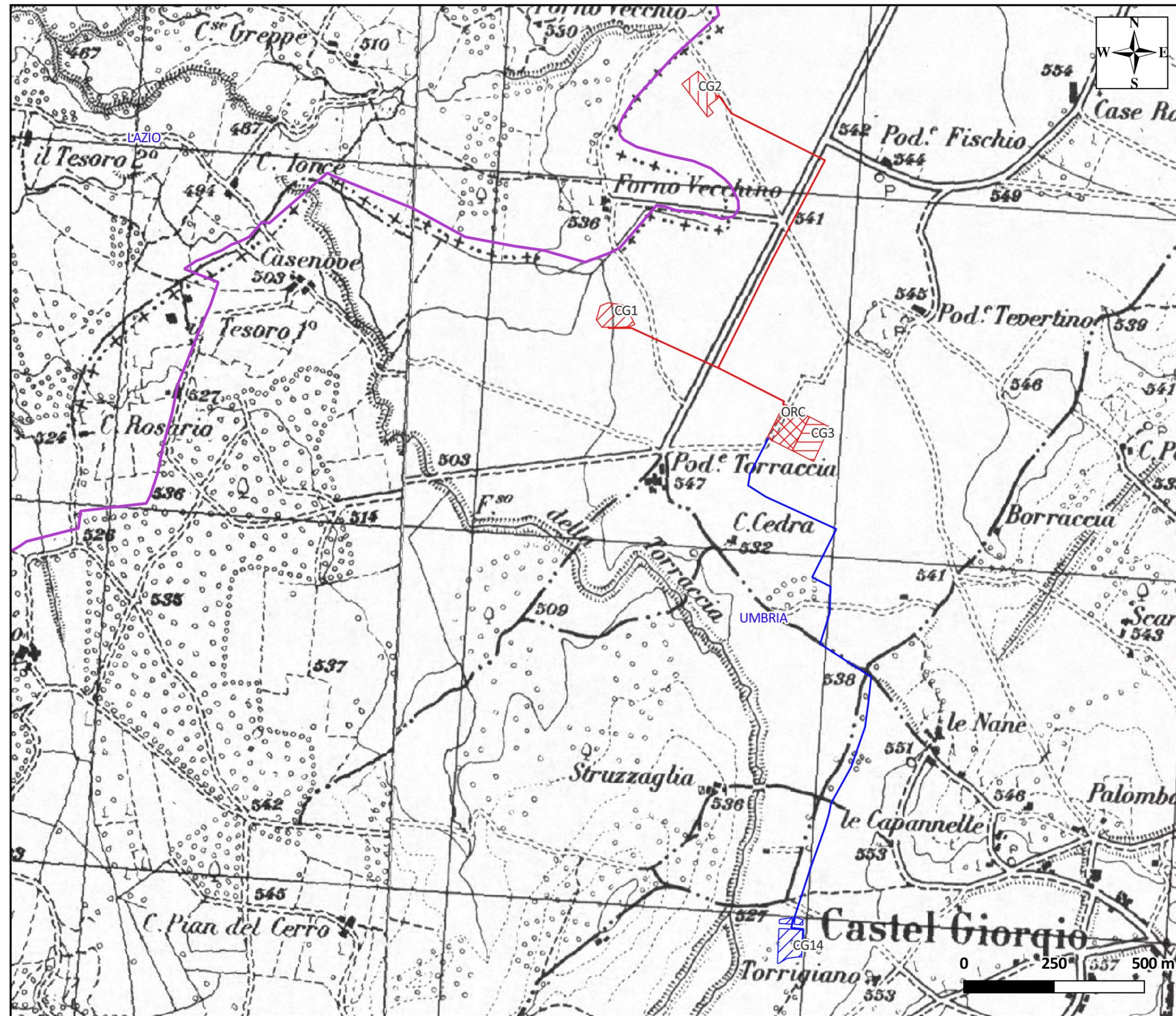
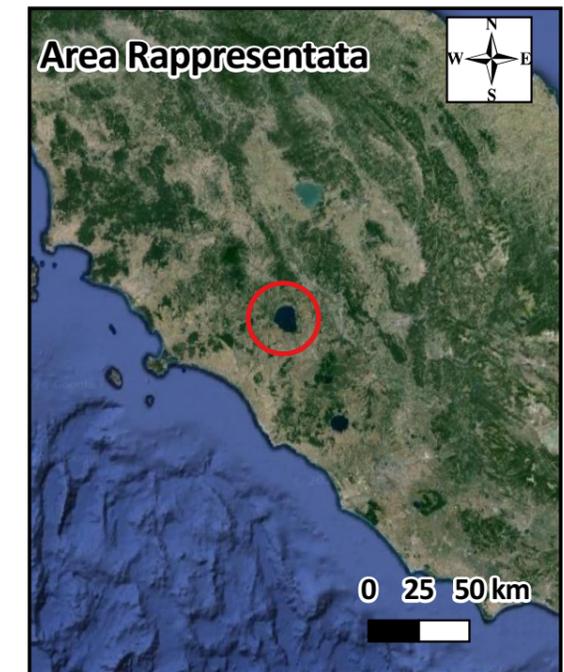
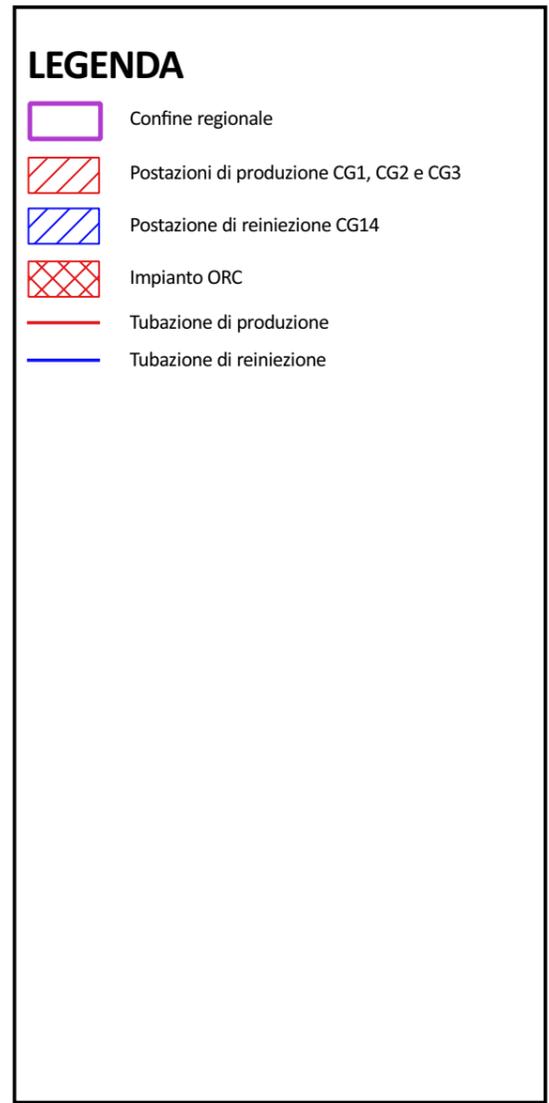
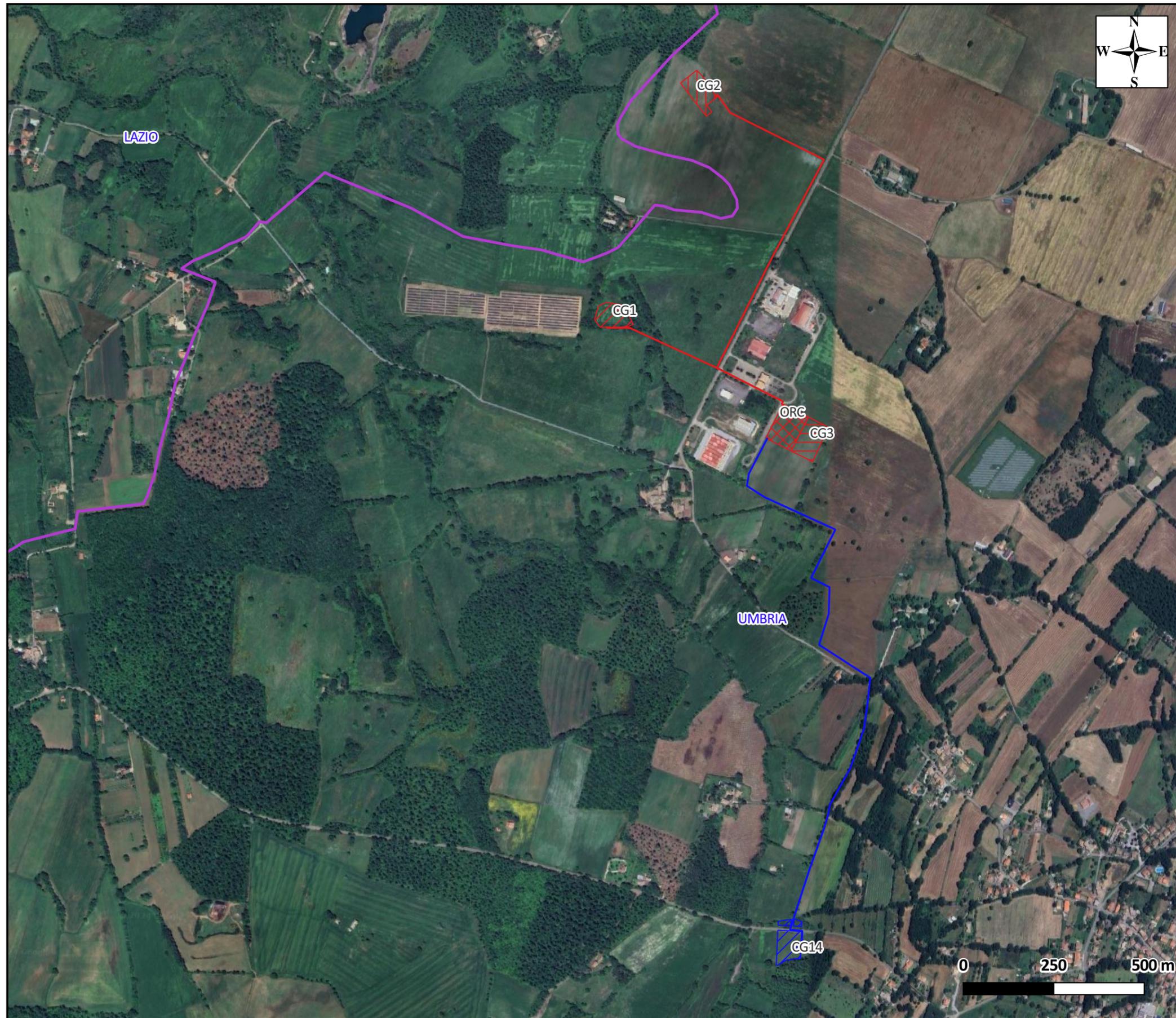


Figura 2.b Inquadramento opere impianto geotermico pilota "Castel Giorgio" su base Ortofoto



La seguente Tabella 2.a riassume le caratteristiche tecnico-progettuali dell'impianto geotermoelettrico che si intende realizzare.

CARATTERISTICHE TECNICHE-PROGETTUALI IN CONDIZIONI DI DESIGN	
Potenza elettrica lorda	8,6 MW
Potenza elettrica netta di design	5 MW
Rendimento elettrico lordo centrale ORC	9,96 %
Portata di fluido estratto e reiniettato	≈1.050 t/h
Temperatura del fluido in ingresso all'ORC	140 °C
Temperatura di Reiniezione	70 °C
Pressione di esercizio a testa pozzo	40 bar a
Pozzi Produttivi	5
Portata di ciascun Pozzo Produttivo	210 t/h
Pozzi Reiniettivi	4
Distanza Media tra le zone di serbatoio Produttive e Reiniettive	≈ 1.850 m
Quota dell'impianto ORC	544 m s.l.m.
Quota della Postazione di Produzione CG1	525 m s.l.m.
Quota della Postazione di Produzione CG2	538 m s.l.m.
Quota della Postazione di Produzione CG3	544 m s.l.m.
Quota della Postazione di Reiniezione CG14	533 m s.l.m.
Profondità media dei pozzi verticali di produzione	1.000 m
Profondità media dei pozzi verticali di reiniezione	2.300 m
Lunghezza tubazione di produzione CG1-ORC	310 m
Lunghezza tubazione di produzione CG2-ORC	1.060
Lunghezza tubazione di produzione CG3-ORC	100
Lunghezza tubazione di reiniezione ORC-CG14	1.830 m
Elettrodotto MT per la connessione alla rete elettrica esistente.	10,7 km

**Tabella 2.a**

**Caratteristiche tecnico progettuali**

### 3 METODO UTILIZZATO

L'impianto pilota geotermico di Castel Giorgio sarà equipaggiato, per il raffreddamento del ciclo termico, con un condensatore ad aria (nel seguito denominati anche aerotermi).

Di seguito vengono valutati i potenziali impatti sul microclima indotti dalle emissioni di calore in atmosfera del condensatore ad aria mediante la valutazione dei massimi aumenti medi orari della temperatura ambiente.

Nello specifico sono stati valutati gli incrementi di temperatura a livello del suolo. Gli impatti generati dalle emissioni di energia termica del condensatore ad aria, utilizzato per condensare il vapore del ciclo termico, sono stati determinati mediante uno studio modellistico effettuato con l'ausilio del software SCREEN3, descritto con maggior dettaglio nel successivo paragrafo 3.2.

I dati di output del modello sono stati successivamente elaborati utilizzando il modello di distribuzione della temperatura nel pennacchio termico secondo il metodo di Halitsky (1968), di seguito descritto.

#### 3.1 METODO DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI TEMPERATURA NEL PENNACCHIO: METODO HALITSKY (1968)

Non esiste un metodo standard per modellizzare la distribuzione di temperatura in un "plume" tipico delle emissioni industriali.

Diversi studi riportati nella letteratura scientifica e tecnica assumono come ipotesi la similitudine tra la distribuzione della concentrazione e la distribuzione di temperatura.

In primo luogo, si definisce il coefficiente di diluizione  $D_c$  della concentrazione come:

$$D_c = \frac{C_0}{C}$$

In cui:

- $C_0$  [g/m<sup>3</sup>] è la concentrazione nei fumi all'uscita del camino;
- $C$  [g/m<sup>3</sup>] è la concentrazione nel punto di interesse.

Sotto certe condizioni si assume che il coefficiente di diluizione della temperatura  $D_T$  è pari al coefficiente di diluizione della concentrazione (Kuo 1997).

$$D_T = \frac{T_s - T_a}{T - T_a} = D_c$$

In cui:

- $T$  è la temperatura nel punto di interesse;
- $T_a$  è la temperatura ambiente;
- $T_s$  è la temperatura dei gas all'uscita del camino.

Conoscendo la dispersione di un inquinante risulta semplice calcolare la temperatura.

Fondamentalmente, le equazioni che governano la diffusione del calore e della massa hanno un'identica struttura formale. L'equazione di diffusione del calore ha la seguente forma:

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right]$$

In cui:

- $\rho$  è la densità del fluido;
- $c_p$  è il calore specifico;
- $k$  è la conducibilità termica.

La conducibilità termica può variare nel volume infinitesimo, mentre la densità e il calore specifico sono assunti come costanti.

Se  $k$  è costante nello spazio e isotropica, l'equazione si semplifica nella seguente forma in cui  $\alpha$  corrisponde alla diffusività termica.

$$\frac{1}{\alpha} \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) = \nabla^2 T$$

Considerazioni simili per le concentrazioni massiche portano alla seguente forma:

$$\frac{1}{D} \left( \frac{\partial C}{\partial t} \right) = \nabla^2 C$$

In cui  $D$  è la diffusività massica.

L'ultima equazione è valida per solidi o liquidi e implica un'eguale diffusione di massa e temperatura se la densità è relativamente costante.

Nei gas la densità è funzione della temperatura e la diffusività termica non è costante.

Considerando la densità  $\rho$  come funzione della temperatura, Halitsky (1968) (*Modeling Plume Interactions with Surround for a Synthetic Imaging Applications*, Johnatan Bishop, Rochester Institute of Technology, anno 2001) suggerisce una correzione delle relazioni dei coefficienti di diluizione sopra accennati:

$$D_T = \frac{T_s - T_a}{T - T_a} D_v = D_c \frac{T_s}{T}$$

In cui  $D_v$  è sostanzialmente il coefficiente  $D_c$  corretto in base alla variazione di densità.

Esplicitando, la temperatura risulta:

$$T = \frac{T_a}{1 - \frac{T_s - T_a}{T_s} \frac{C}{C_0}}$$

Valida sotto le seguenti ipotesi:

- l'aria emessa dal condensatore e l'aria ambiente hanno identici calori specifici;
- gli scambi termici dominanti avvengono tra il plume-gas e l'aria miscelata con il pennacchio; gli scambi radiativi tra il plume, regioni distanti dell'atmosfera e terreno sono trascurabili;
- il plume non urta contro oggetti o contro il terreno, se accadesse si verificherebbero scambi termici e non massici e quindi si altererebbe la stima della distribuzione di temperatura secondo questa metodologia;
- nel caso di più pennacchi non avvengono urti o miscele tra di loro, se accadesse ciò la concentrazione in un punto sarebbe la somma delle concentrazioni dei due plume, mentre la temperatura è approssimativamente una media delle temperature dei due plume, pesata per i loro flussi di massa
- la massa e la temperatura hanno lo stesso rateo di diffusione (Numero di Lewis  $Le = \alpha/c_p = 1$ ).

### 3.2

#### MODELLO DI CALCOLO DELLA DIFFUSIONE

Per l'esecuzione dello studio è stato utilizzato il modello SCREEN3, codice diffusionale certificato e suggerito dall'EPA, sviluppato sulla base del documento "Screening Procedures for Estimating The Air Quality Impact of Stationary Sources" (EPA 1995).

SCREEN3 è un modello gaussiano sviluppato per effettuare analisi di screening. Esso permette di stimare sotto vento, lungo l'asse del pennacchio, i massimi valori orari per una data distanza dal punto di emissione, in funzione di condizioni meteorologiche determinate dalla combinazione classe di stabilità – velocità del vento.

Al fine di ottenere la stima delle ricadute e conseguentemente degli incrementi di temperatura alle diverse distanze dal punto di emissione considerato, è stata utilizzata la modalità di calcolo della diffusione atmosferica "worst case", che considera tutte le diverse combinazioni meteorologiche, corrispondenti a quanto riportato nella Tabella 3.2.a, utilizzando poi quelle che massimizzano le concentrazioni (e quindi gli aumenti di temperatura) al livello del suolo.

Velocità del vento a 10 metri dal suolo [m/s]													
Classe di stabilità di Pasquill	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	8,0	10,0	15,0	20,0
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
F	*	*	*	*	*	*	*						

**Tabella 3.2.a** *Condizioni Meteorologiche Considerate nel Modello Eseguito con SCREEN3.*

Gli incrementi massimi orari di temperatura sono stati stimati in punti recettori discreti a diverse distanze dal condensatore ad aria, comprese tra 1 m e 3.000 m, in modo da delineare l'andamento degli innalzamenti di temperatura allontanandosi dalla sorgente.

## 4 SCENARIO IPOTIZZATO

L'impianto pilota Castel Giorgio ha le seguenti caratteristiche energetiche riportate alle condizioni di progetto.

Parametri	UdM	Valore
Potenza termica da fluido geotermico	MW	86,3
Potenza elettrica lorda al generatore impianto ORC	MW	8,6
<i>Potenza dispersa nei condensatori ad aria</i>	MW	<i>77,7</i>

**Tabella 4.a** Bilanci di energia dell'Impianto ORC

Come si vede dalla Tabella 4.a, la potenza termica dispersa dai condensatori ad aria sarà di circa 78 MWt.

La potenza termica è dissipata attraverso il condensatore costituito da 54 ventilatori disposti in sei file parallele, ciascuno di diametro 5 m ed altezza 11 m.

Vista la vicinanza e la continuità degli aerotermi, al fine delle modellizzazioni, è stata simulata un'unica sorgente equivalente di calore del diametro di 32 m, che permette di considerare l'effetto di maggior innalzamento dovuto all'interazione dei pennacchi.

Le grandezze caratterizzanti l'aria in uscita dal condensatore, secondo le condizioni standard di progetto, sono riportate nella Tabella 4.b.

Caratteristiche	UdM	Valore
Potenza Termica	MW	77,7
Numero ventilatori	N°	54
Altezza	m	11
Delta T Aria ( $T_{aria\ out} - T_{aria\ in}$ )	°C	10
Portata volumica per ventilatore	m <sup>3</sup> /s	118
Velocità di uscita dell'aria per ventilatore	m/s	6
Diametro di ciascun ventilatore	m	5

**Tabella 4.b** Sintesi dei parametri d'ingresso utilizzati

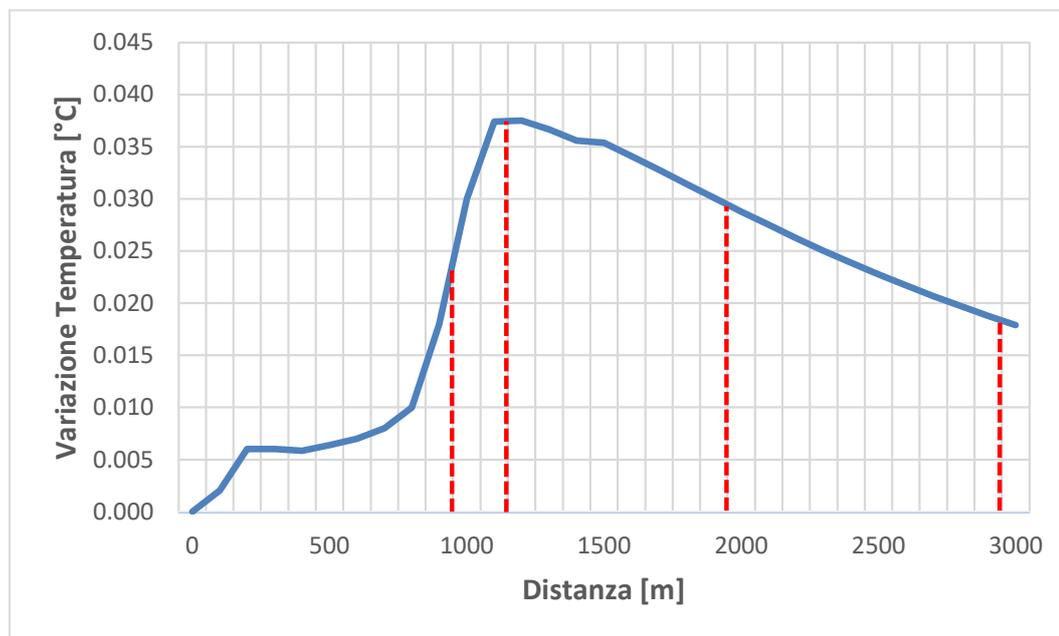
Per valutare il potenziale incremento di temperatura indotto in prossimità dell'impianto pilota e in corrispondenza dei potenziali recettori, si sono inoltre analizzate le condizioni di dispersione del calore maggiormente impattanti, ovvero il funzionamento a carico massimo e con la massima differenza di temperatura possibile.

## 5 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

La simulazione effettuata per lo studio di dispersione delle emissioni di energia termica determinato dall'esercizio dell'impianto, sviluppata secondo il metodo di Halitsky (1968), mostra una variazione estremamente limitata della temperatura ambiente (inferiore al decimo di grado °C) nello strato di atmosfera interessato dai reali/potenziati ricettori posti in prossimità dell'impianto.

Nella Figura 5.a è riportato l'andamento della variazione di temperatura dell'aria ambiente al livello del suolo in funzione della distanza dagli aerotermini (condensatori ad aria). Si fa presente che l'aria espulsa dagli aerotermini tende ad andare in alto, in quanto più calda dell'aria ambiente, pertanto la variazione di temperatura nelle immediate vicinanze degli aerotermini, e quindi anche alla recinzione dell'impianto, è praticamente nulla. Dall'analisi è emerso che l'incremento di temperatura massimo orario, nelle condizioni più conservative, è pari a 0,038 °C e si verifica ad una distanza di circa 1.200 m dall'Impianto ORC.

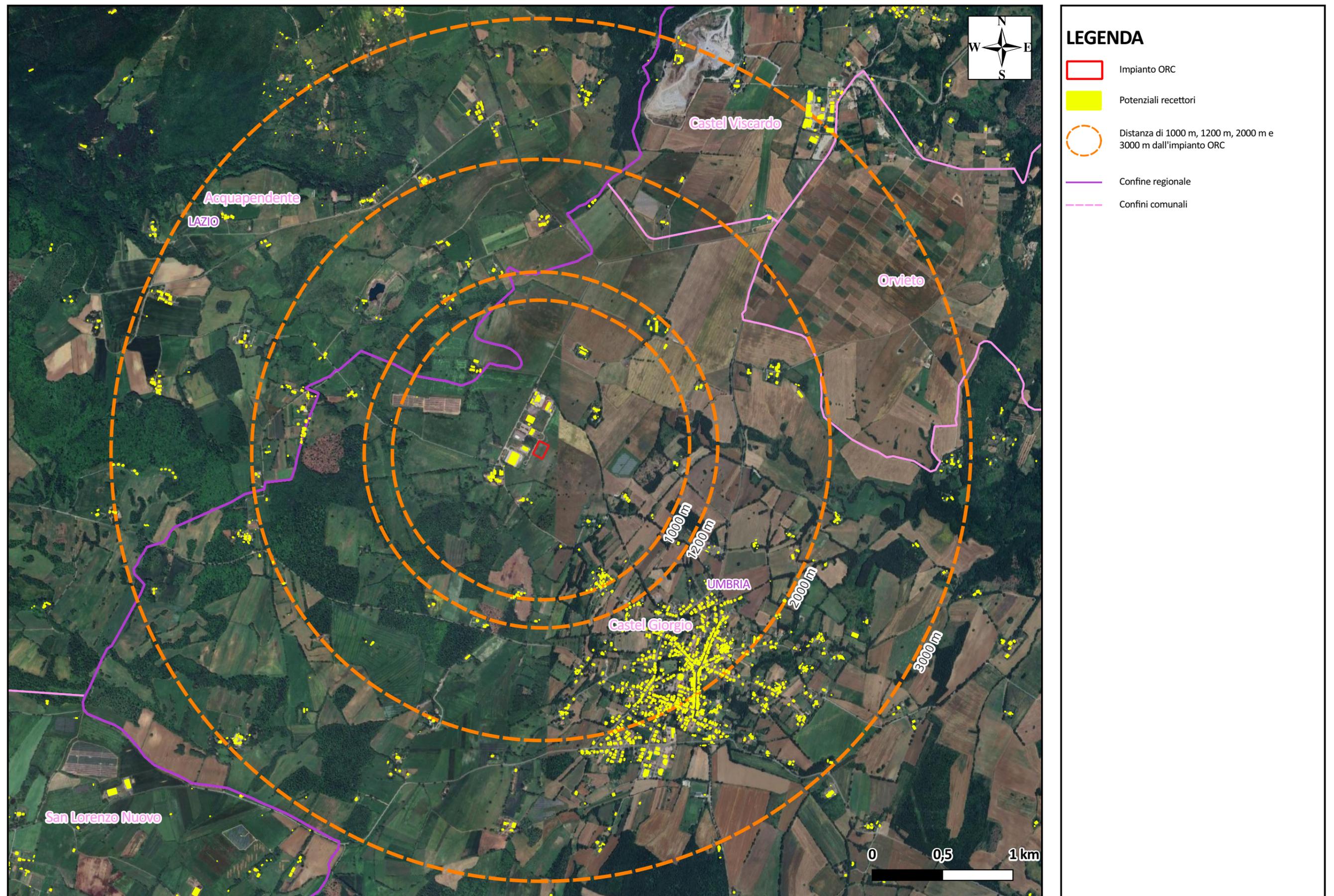
Dalla modellizzazione effettuata emerge inoltre che, a distanze superiori dai 1.200 m, la variazione di temperatura tende progressivamente a diminuire.



**Figura 5.a** *Variazione della temperatura ambiente in funzione della distanza dagli aerotermini*

Nella Figura 5.b è invece riportata la localizzazione dei potenziali recettori presenti nel raggio di 3 km dell'impianto, con la delimitazione delle distanze di 1.000 m, 1.200 m, 2.000 m e 3.000 m dall'impianto ORC, finalizzata ad identificare il potenziale incremento di temperatura misurabile al suolo in relazione alla distanza.

Figura 5.b Localizzazione dei potenziali ricettori nel raggio di 3 km dall'impianto ORC



È stata inoltre condotta un'analisi di sensitività al variare delle condizioni di temperatura esterna, ipotizzando le temperature minime (condizioni invernali) e massime (condizioni estive) che caratterizzano l'area di studio. I risultati delle ulteriori simulazioni hanno evidenziato che l'incremento di temperatura atteso nelle condizioni invernali risulta inferiore rispetto a quello simulato (Figura 5.a), mentre nelle condizioni estive rimane dello stesso ordine di grandezza e del tutto comparabile ai risultati ottenuti.

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVI

Per valutare la variazione delle temperature attese al suolo indotto dall'esercizio dell'impianto geotermico "Castel Giorgio", al fine di ottemperare alla condizione ambientale A.1 p). presente nel D.M. n. 59 del 03/04/2015, è stata condotta una modellazione mediante SCREEN3 e applicazione del Metodo Halitsky (1968).

I risultati ottenuti, considerando le condizioni di dispersione del calore peggiorative, ovvero il funzionamento a carico massimo e con la massima differenza di temperatura possibile, evidenziano che le variazioni di temperature attese al suolo risultano estremamente limitate, e pertanto ininfluenti sulle condizioni di microclima dell'area.

L'incremento di temperatura massimo orario, modellato nelle condizioni più conservative, è pari a 0,038 °C ad una distanza di circa 1.200 m dall'Impianto ORC. Alla luce di quanto emerso dalle simulazioni, il potenziale incremento massimo è previsto nell'intervallo tra 1.000 e 2.000 m ed è comunque inferiore al decimo di grado.

In aggiunta, se si considera che la valutazione è stata effettuata sotto vento, lungo l'asse del pennacchio e con modalità di calcolo della diffusione atmosferica "worst case", i risultati ottenuti possono considerarsi attendibili.

Inoltre, i risultati della modellazione sono avvalorati dall'evidenze registrate in area dove tale tipologia d'impianti simili sono già in esercizio. Infatti, in aree dove tali impianti, anche di dimensioni molto superiori a quella dell'impianto geotermico Castel Giorgio, sono già in esercizio, non si riscontrano problematiche correlate all'inquinamento termico, né variazione del microclima locale, anche in virtù dell'adozione dei condensatori ad aria rispetto ad altre tecnologie di condensazione.