

# IMPIANTO PILOTA: SISTEMA A POMPA DI CALORE GEOTERMICA



12 e 13 novembre 2012  
Palazzo di Ateneo e Palazzo Ex Poste  
Università di Bari



*Dipartimento di Scienze  
Agro - Ambientali e  
Territoriali - DISAAT*

Anifantis Alexandros

Scarascia Mugnozza Giacomo

Pascuzzi Simone

Verdiani Giuseppe

Blanco Ileana

A black and white photograph of a person sitting on a rock, leaning forward with their hand on their chin in a classic 'The Thinker' pose. The background is a dramatic, cloudy sky. A bright green thought bubble is positioned to the right of the person, containing text in a cursive font.

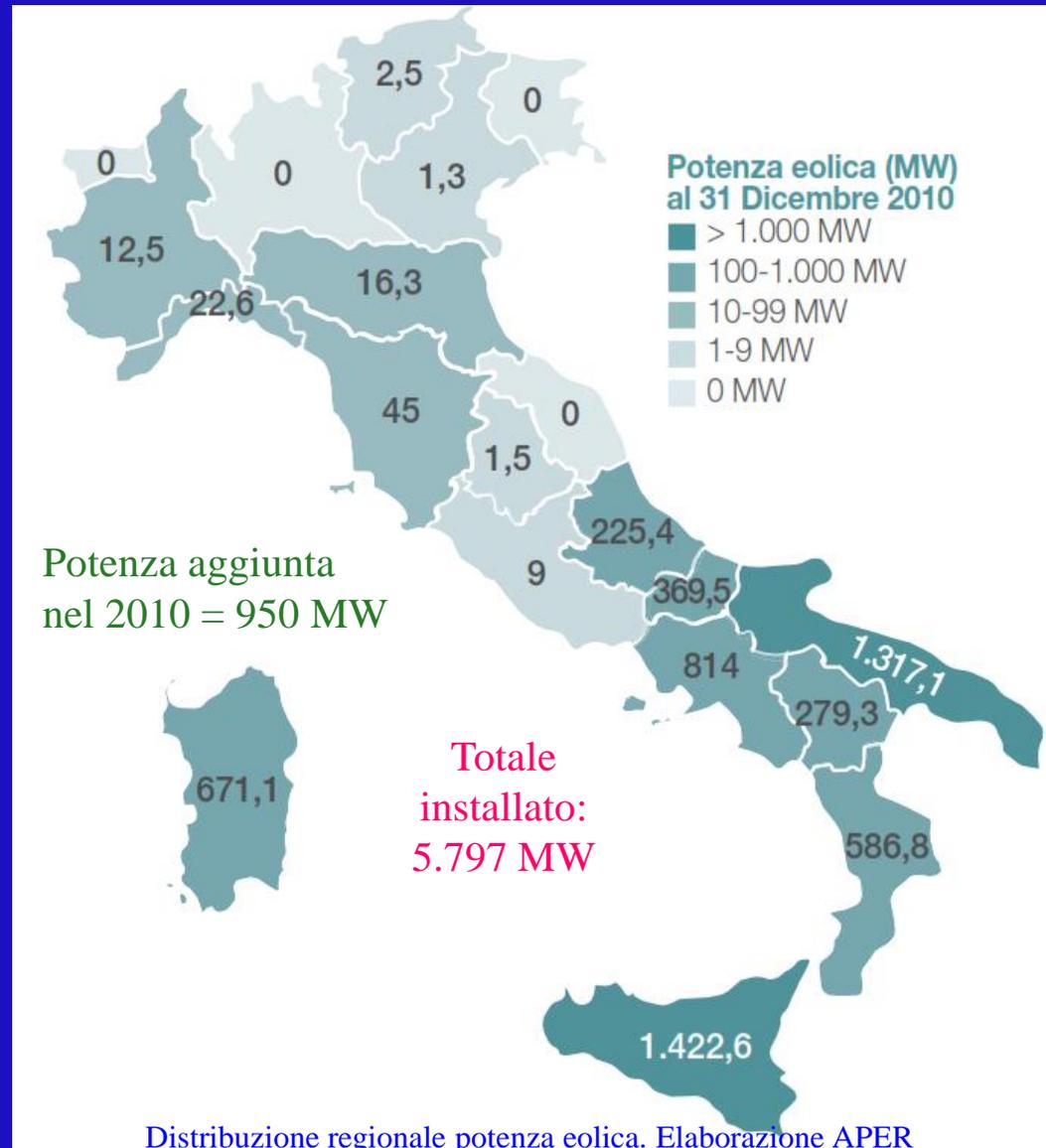
*Qual'è l'ubicazione più diffusa delle fonti di energia rinnovabile ??*

# Eolico

La Sicilia accoglie 1.422,6 MW, superando così la Puglia, comunque salita a quota 1.317,1 MW.

Rispetto al 2009, il Molise ha più che raddoppiato la potenza installata, la Calabria ha visto un incremento del 47,5%, la Basilicata, pari a quasi il 23%.

Fonte: Rapporto Rinnovabili 2010-2011, APER, 07/2011.



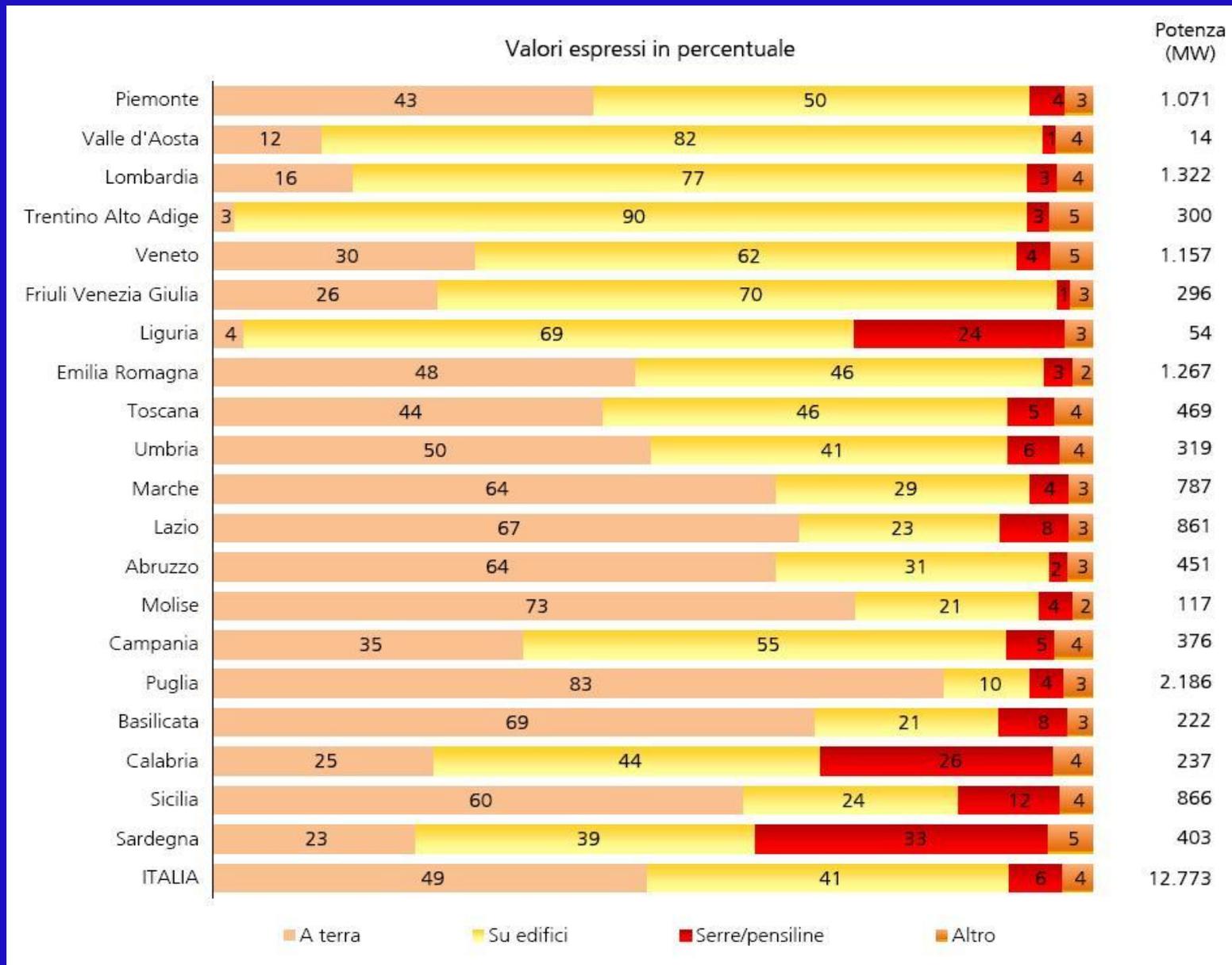
# Fotovoltaico

*Totale dei risultati del conto energia  
ripartito per regione degli impianti in esercizio*

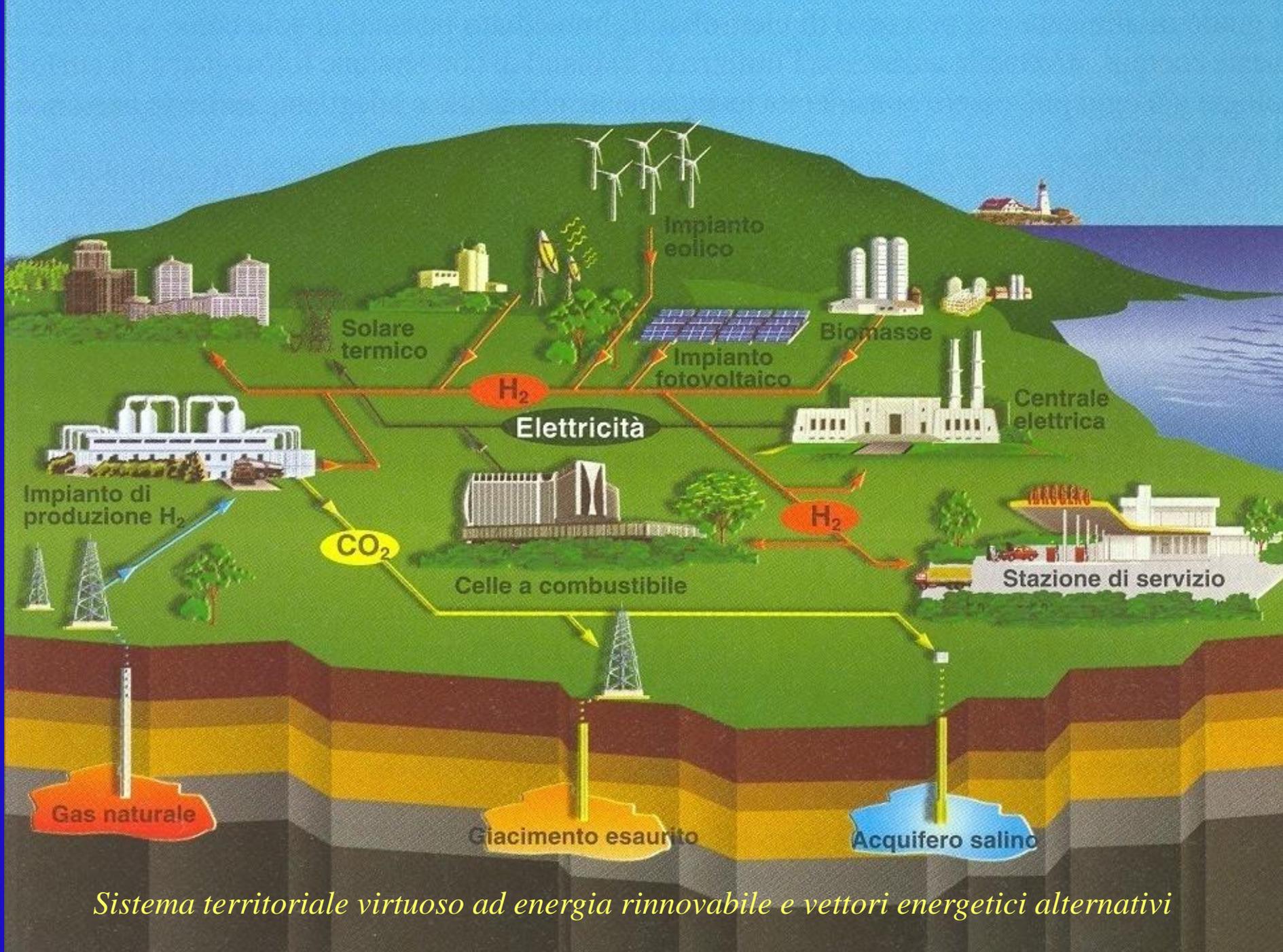
REGIONE	TOTALE	
	Numero	Potenza (kW)
PUGLIA	30.297	2.349.422
LOMBARDIA	61.752	1.662.162
EMILIA ROMAGNA	40.115	1.483.716
VENETO	57.663	1.369.433
PIEMONTE	30.385	1.269.363
LAZIO	23.329	979.550
SICILIA	27.556	977.593
MARCHE	15.454	900.606
TOSCANA	22.042	572.513
ABRUZZO	10.443	541.896
SARDEGNA	19.372	491.426
CAMPANIA	13.990	465.607
UMBRIA	10.326	382.961
FRIULI VENEZIA GIULIA	20.855	361.265
TRENTINO ALTO ADIGE	17.336	346.815
CALABRIA	12.409	318.533
BASILICATA	4.977	286.930
MOLISE	2.204	138.960
LIGURIA	3.895	66.968
VALLE D'AOSTA	1.372	16.630
<b>Totale ITALIA</b>	<b>425.772</b>	<b>14.982.347</b>

*Fonte: GSE, 31 agosto 2012*

# Tipologie d'installazione del fotovoltaico in Italia



Rapporto statistico fotovoltaico GSE, 2011



*Sistema territoriale virtuoso ad energia rinnovabile e vettori energetici alternativi*

A green-tinted photograph of a field of tall, slender plants, possibly tobacco, with the text "SCOPO DELLA RICERCA" overlaid in white. The plants are arranged in rows, and the ground is visible at the bottom. The text is centered and written in a bold, sans-serif font.

# SCOPO DELLA RICERCA

# ***LE SERRE***

Regione Puglia - Delibera di Giunta n. 107 del 23 gennaio con approvazione della circolare n. 1/2012 su “Criteri Modalità e Procedimenti Amministrativi connessi all'autorizzazione per la realizzazione di serre Fotovoltaiche sul territorio regionale”:

Per la realizzazione o trasformazione di serre fotovoltaiche è necessario acquisire il parere favorevole “sulla idoneità dell'intervento ai fini dello sviluppo agricolo della zona” da parte dell'Ufficio provinciale competente per territorio del Servizio Agricoltura su i seguenti punti:

- 1) Potenziale produttivo dell'area coperta in serra risulti effettivamente superiore, a parità di condizioni, a quella che la stessa area svilupperebbe in campo aperto.
- 2) L'ombreggiamento indotto dall'impianto fotovoltaico deve risultare uniformemente distribuito su tutta la superficie di copertura.
- 3) I pannelli utilizzati per la copertura di serre devono assicurare una trasparenza del medesimo singolo pannello del 50%, uniformemente distribuita
- 4) La superficie oscurata dai pannelli fotovoltaici non dovrà superare il 25% della superficie di copertura della serra.

# LE SERRE: VANTAGGI

La FAO stima che nei prossimi 20 anni la produzione mondiale di risorse alimentari dovrebbe crescere del 50% attraverso l'intensificazione dell'agricoltura.



*La sfida dell'agricoltura moderna è quella di ottenere un corretto equilibrio tra produzione agricola competitiva, tutela del territorio e sostenibilità ambientale, sociale ed economica.*

*Le serre rappresentano la forma di agricoltura più evoluta ed energivora in virtù dell'elevato livello tecnologico che le caratterizza.*



*Le colture in serra hanno una produttività fino a 20 volte superiore rispetto a quella in pieno campo ed una maggiore efficienza d'uso dell'acqua (Water Use Efficiency).*

Le serre garantiscono condizioni microclimatiche ottimali per soddisfare le richieste del ciclo vegetativo delle piante allevate al suo interno grazie allo sfruttamento della radiazione solare e di input energetici diretti.

# LE SERRE: SVANTAGGI

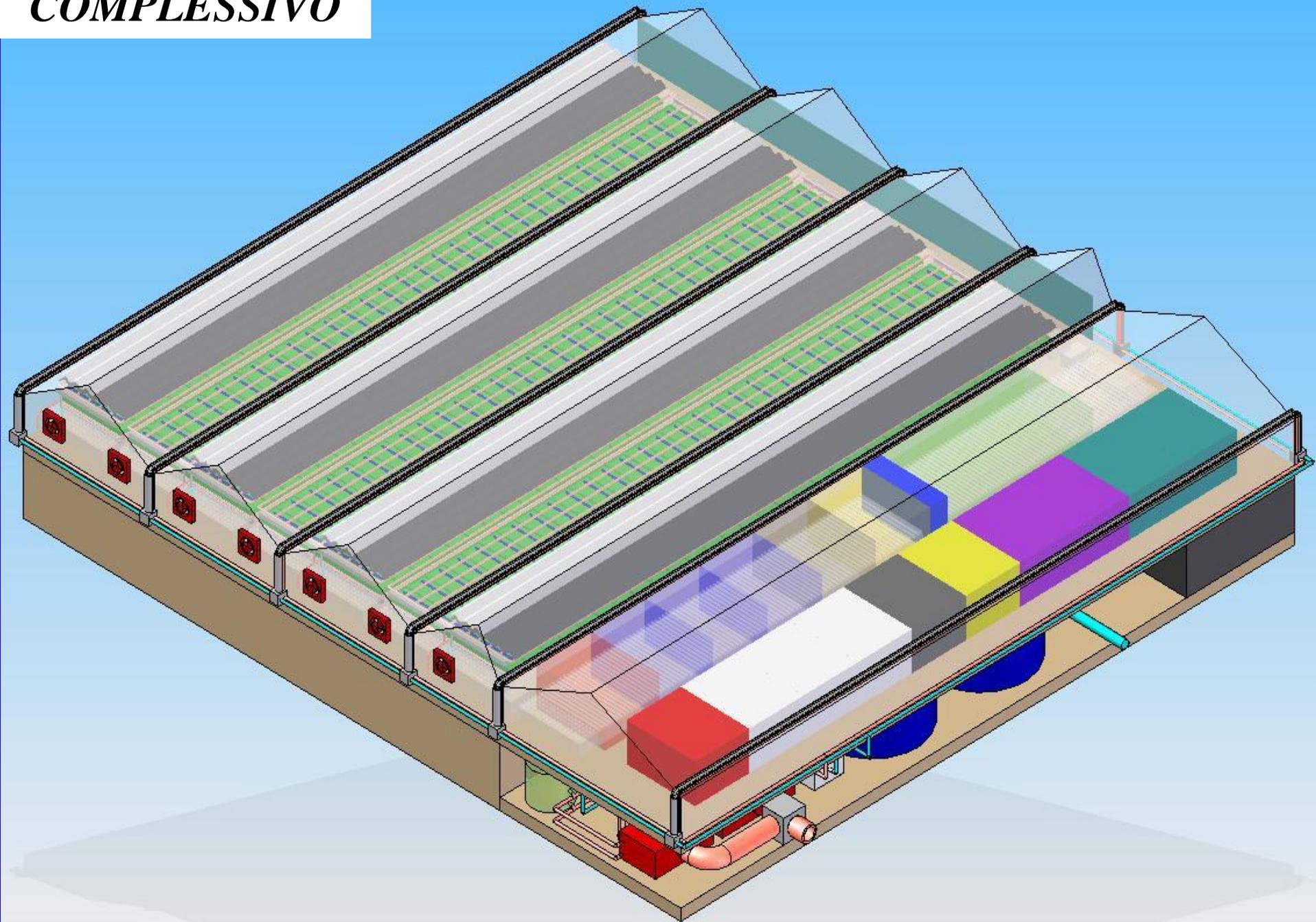
Le serre in Italia interessano una superficie di circa 39.000 ha (ISTAT, 2008) ma pur occupando una porzione limitata del territorio possono determinare effetti negativi sulle matrici ambientali. Le emissioni delle centrali termiche a servizio delle serre rilasciano in atmosfera più di 1.300.000 tCO<sub>2</sub>/anno.



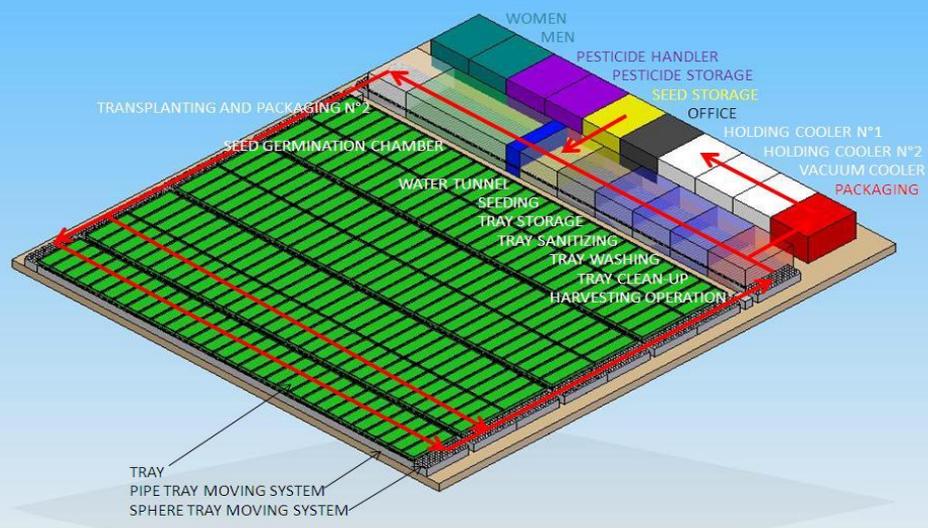
L'energia necessaria per il riscaldamento in serra varia da 500 a 2700 MJ/(m<sup>2</sup> a), a seconda del sito, della coltivazione, delle strutture e del livello di controllo climatico.

*Le energie rinnovabili sono una importante risorsa per la riqualificazione energetica – produttiva del comparto serricolo, incrementando la sostenibilità e riducendo il carico ambientale.*

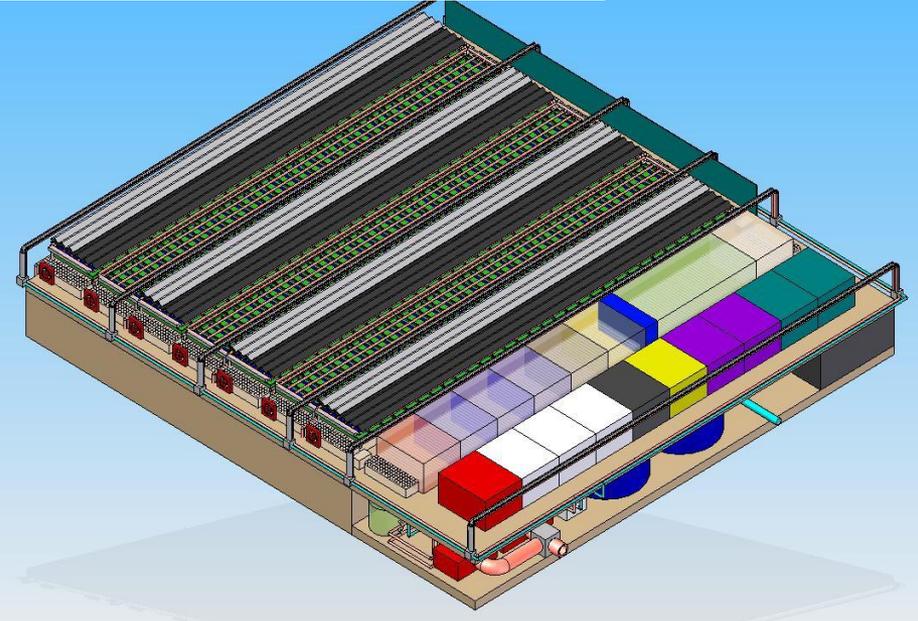
# COMPRESSIVO



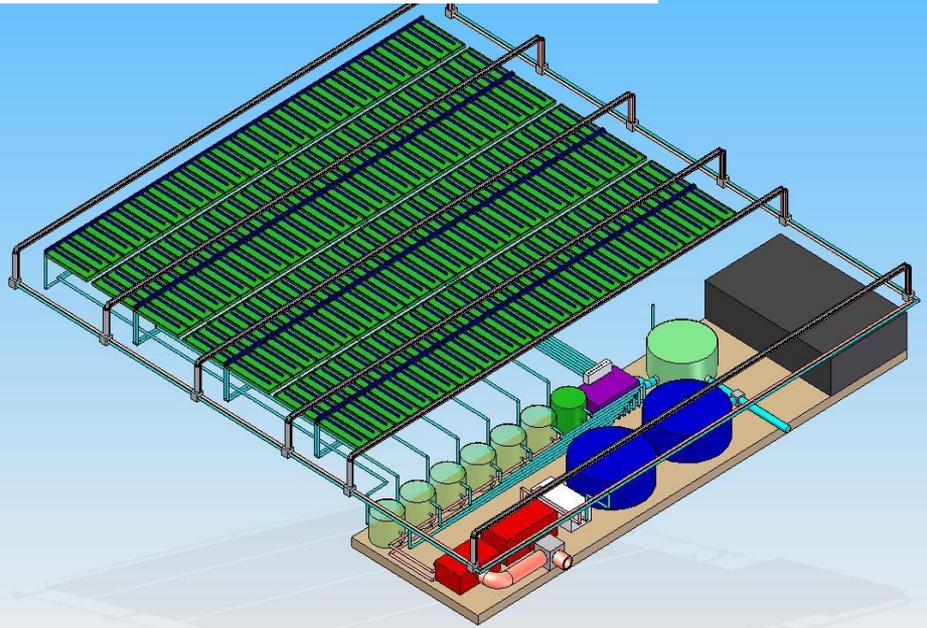
# ELEVATO LIVELLO D'AUTOMAZIONE E CONTROLLO



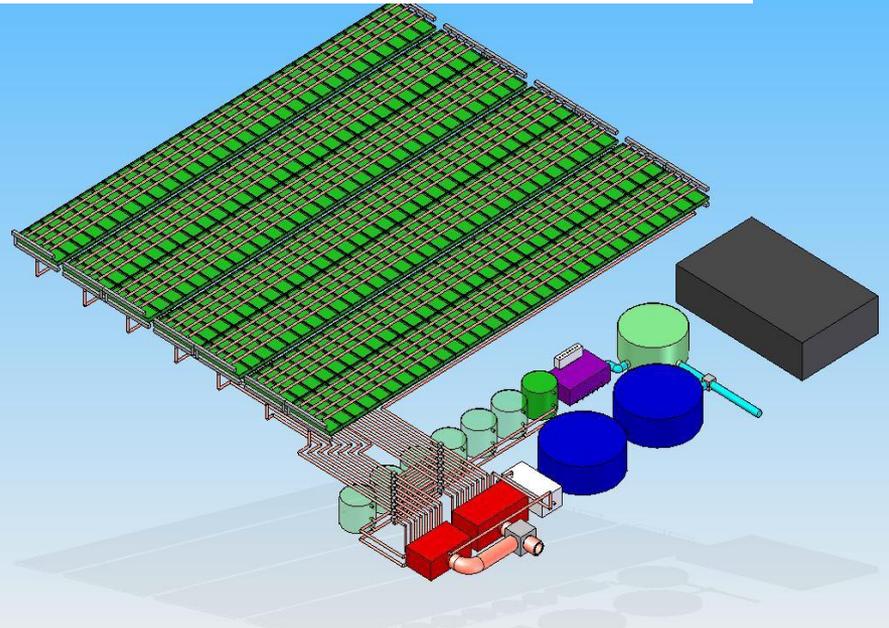
# SISTEMI DI RISPARMIO ENERGETICO



# IMPIANTO DI IRRIGAZIONE A RECUPERO



# IMPIANTO DI RISCALDAMENTO GEOTERMICO



# SERRE – ENERGIA GEOTERMICA A BASSA ENTALPIA

Le risorse geotermiche a bassa entalpia sono una fonte rinnovabile e sostenibile di energia

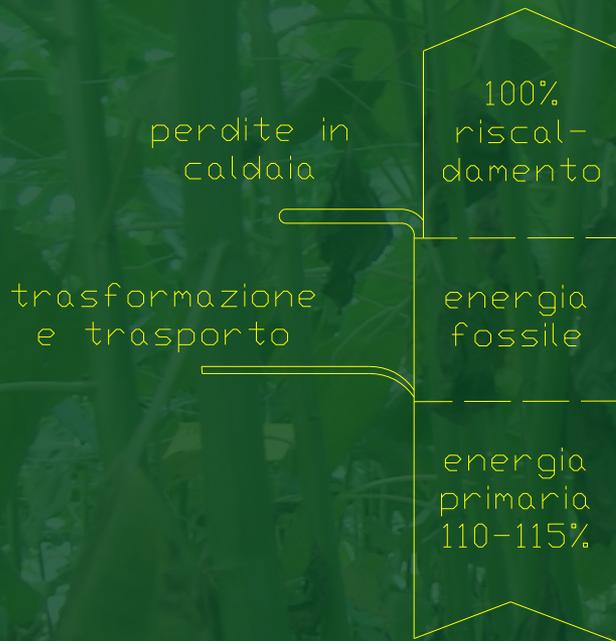
*L'uso diretto del calore geotermico per il riscaldamento delle serre è largamente sviluppato in molti paesi*

In Italia le applicazioni sono limitate a circa 45 ha di serre così distribuite:

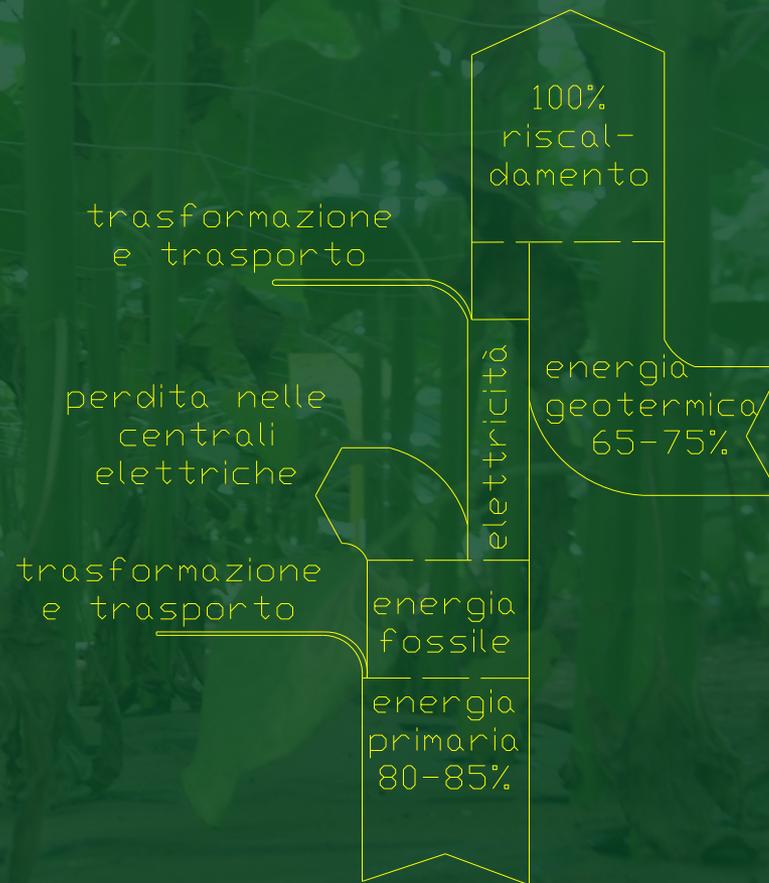
Regione	Superficie serre (ha)	Serre geotermiche (ha)
Toscana	2000	25 – 30
Lazio	3000	18 – 20
Veneto	2000	< 1

Le pompe di calore geotermiche sono considerate dalla *Direttiva Europea 2009/28* una fonte rinnovabile di energia e rappresentano la tecnologia a più basso valore di emissioni di CO<sub>2</sub>

# CONFRONTO DI RENDIMENTI FRA UNA CALDAIA COMUNE E UNA POMPA DI CALORE GEOTERMICA A BASSA ENTALPIA



caldaia



pompa di calore con COP pari a 3,5

# CONVENIENZA ENERGETICA DELLE F.E.R.

Rese energetiche (E.R.O.E.I.) di varie fonti usate per produrre energia elettrica ed energia termica.

Numero di anni (Energy Pay-back) per avere l'equilibrio tra energia spesa ed energia fornita

	Nucl.	Petr.	Carb.	Gas	Idroel.	Geoterm.	Sol. Term.	Eolico	Sol. Fotov.	Bioener.
E.R.O.E.I. (*)	30.0	10.0	9.0	7.0	100.0	50.0	40.0	30.0	10.0	10.0
Energy Pay-back (anni)	1.0	3.0	3.3	4.3	0.30	0.60	0.75	1.0	3.0	3.0

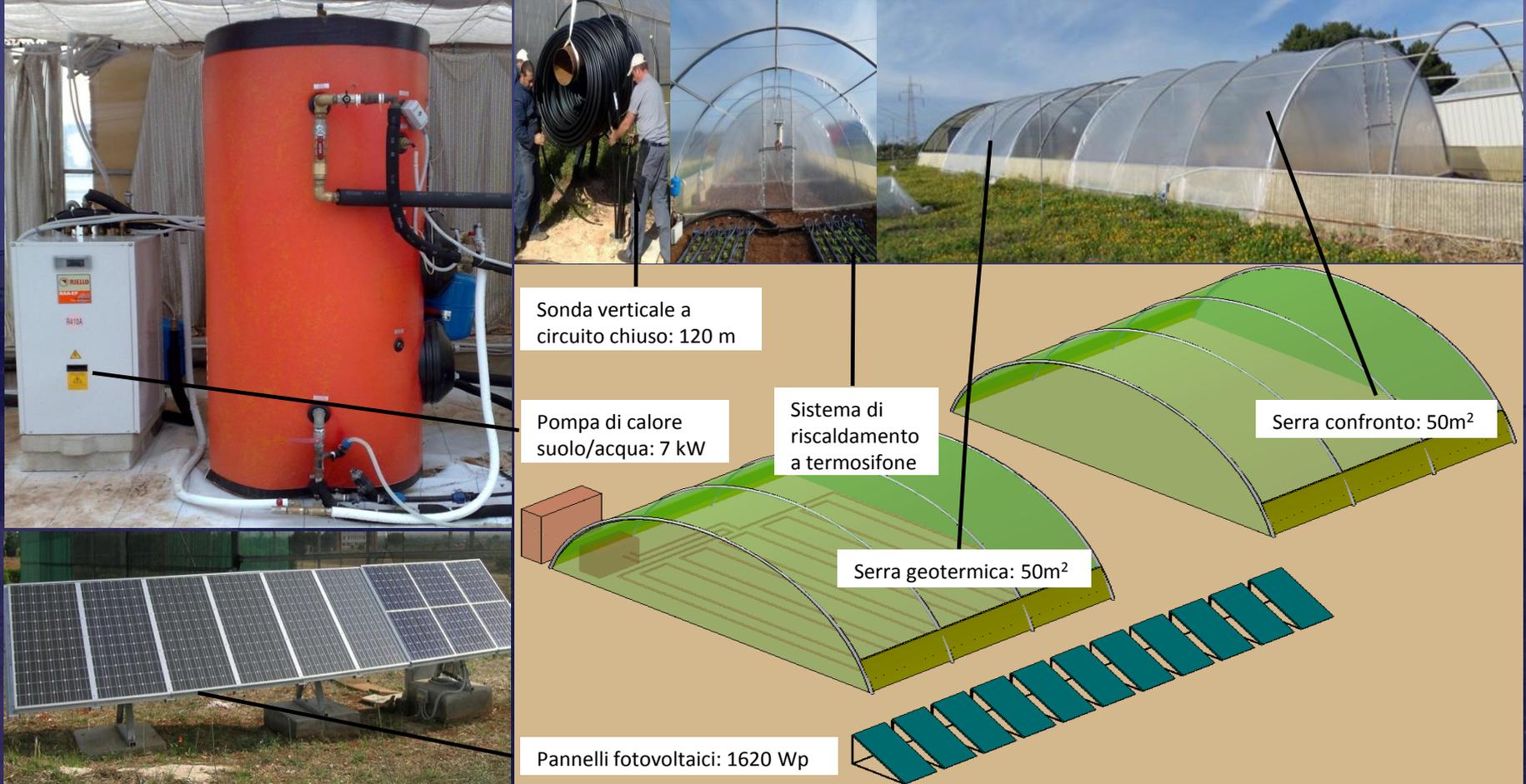
(\*) EROEI: “Ritorno Energetico sull’Investimento Energetico,” ovvero “Energy Return On Energy Investment”. L’EROEI è il rapporto fra l’energia che questo impianto produrrà durante la sua vita attiva e l’energia investita per costruire un impianto (EROEI >1 energeticamente conveniente).

# MODELLO SPERIMENTALE



# IL CASO DI STUDIO: DESCRIZIONE

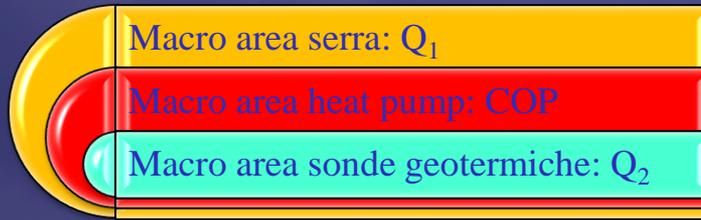
Il dipartimento DISAAT ha realizzato presso il centro didattico – sperimentale “Martucci” della Facoltà di Agraria di Bari un *impianto sperimentale “fotovoltaico – pompa di calore geotermica per il riscaldamento di una serra”*



Mix fonti energetiche rinnovabili coerenti con il tessuto rurale

# Modello matematico

Macro aree di una pompa di calore geotermica per serre



$$Q_1 = \frac{COP}{COP - 1} Q_2$$

Parametri fisici

$$l_t = f(T_i, T_e, T_t, T_g, T_f, r_{f,eq}, r_b, r_g, A_t, A_c, V, S, S_c, \sigma_0, \varepsilon_{cp,IRL}, \lambda_c, \lambda_f, \lambda_p, \lambda_b, \lambda_{g,i}, \rho_{ar}, \rho_f, c_{p,ar}, c_{p,f}, \mu, h_i, h_t, v_{ar}, v_f, R, COP)$$

Lunghezza di installazione

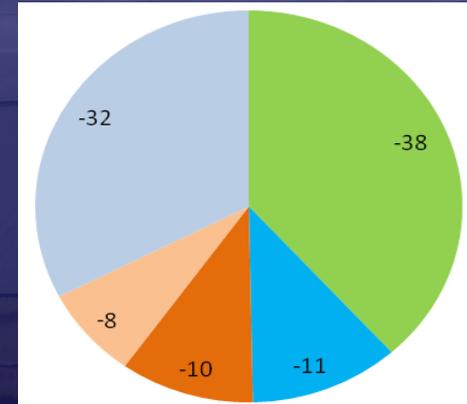
$$l_t = \left\{ \frac{2}{0.023 \lambda_f \left( \frac{\rho_f v_f 2 r_{f,eq}}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{\mu c_{p,f}}{\lambda_f} \right)^{0.4}} + \frac{\ln \left( \frac{r_{f,eq} + S}{r_{f,eq}} \right)}{\lambda_p} + \frac{\ln \left( \frac{r_b}{r_{f,eq} + S} \right)}{\lambda_b} + \frac{\ln \left( \frac{r_g}{r_b} \right)}{\sum_{i=1}^n \lambda_{g,i} \frac{l_i}{l_t}} \right\} *$$

$$\left\{ \left[ \frac{A_c}{\frac{1}{h_i} + \frac{S_c}{\lambda_c} + \frac{1}{7.2 + 3.8 * v_{ar}}} + \rho_{ar} V R c_{p,ar} (T_i - T_e) + h_t (T_i - T_t) A_t + \sigma_0 \varepsilon_{cp,IRL} \left[ \left( \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i} + \frac{S_c}{\lambda_c} + \frac{1}{7.2 + 3.8 * v_{ar}}} + T_e \right)^4 - (0.0522 T_e^{1.5})^4 \right] A_t \right] \right\} \frac{1}{2\pi(T_g - T_f) \left( \frac{COP}{COP - 1} \right)}$$

# Macro area serra

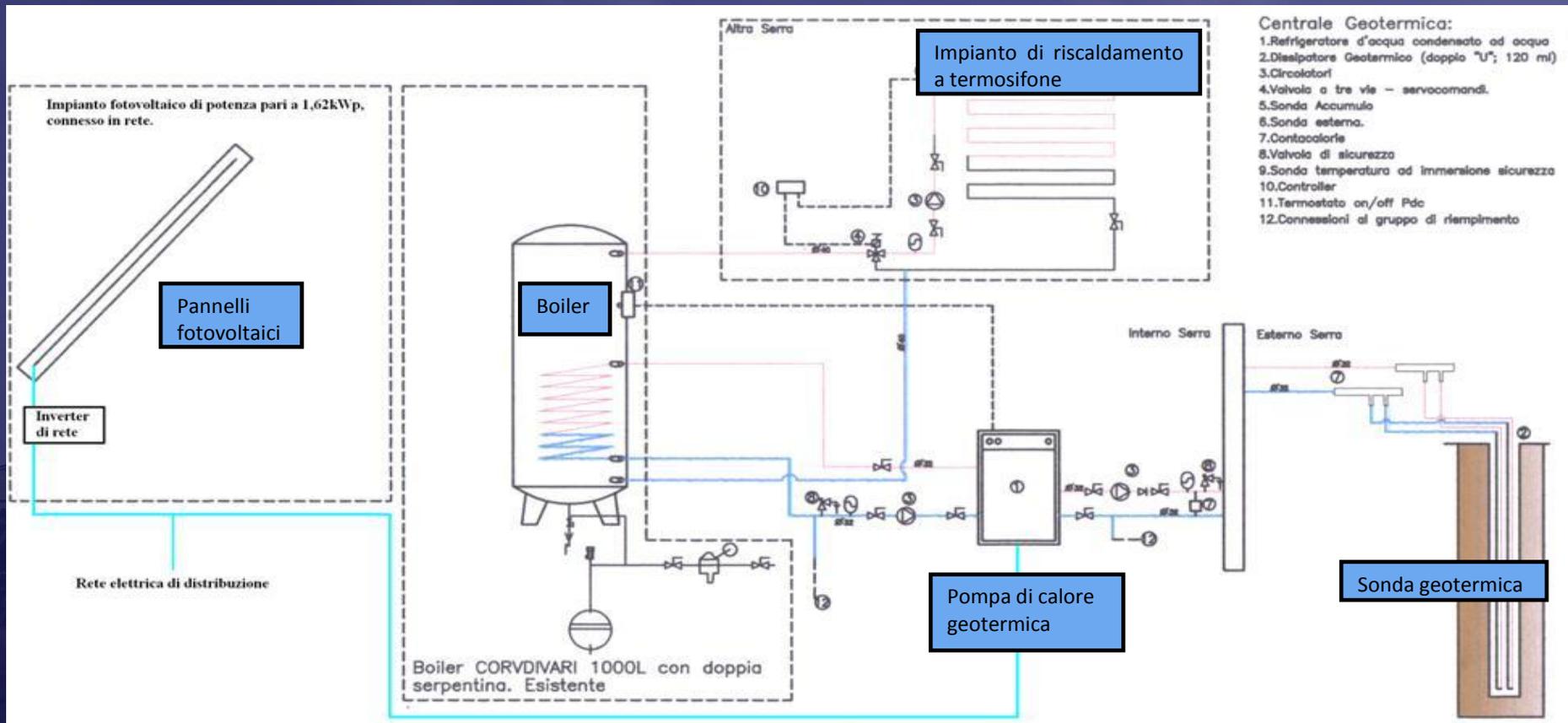
Superficie in pianta della serra	$A_t$	48	$m^2$
Superficie della copertura della serra	$A_c$	120	$m^2$
Volume serra	$V$	150	$m^3$
Spessore della copertura	$S_c$	0,0002	m
Conducibilità termica della copertura	$\lambda_c$	0,35	W/m C
Densità dell'aria interna, esterna	$d$	1,293	kg/ $m^3$
Rinnovi orari volumi serra	$R$	3,625	1/h
Calore specifico aria interna, esterna	$cp$	992	J/kg C
Velocità del vento esterno	$v$	3,5	m/s
Coefficiente di trasmissione della copertura	$\tau_{cp}$	0,8	
Coefficiente di riflessione della vegetazione e del terreno	$\rho_t$	0,1	
Coefficiente di emissività del terreno all'infrarosso lungo	$\epsilon_{t,IRL}$	0,9	
Coefficiente di emissività della copertura all'infrarosso lungo	$\epsilon_{cp,IRL}$	0,6	
Coefficiente di trasmissione della copertura all'infrarosso lungo	$T_{cp,IRL}$	0,125	
Coefficiente di trasmissione del corpo nero all'infrarosso lungo	$\sigma_0$	5,67E-08	W/ $m^2 K^4$
Coefficiente di convezione fra copertura ed interno	$hi$	6,5	W/ $m^2 C$
Coefficiente di convezione fra aria interna e terreno	$h_t$	4	W/ $m^2 C$
Temperatura dell'aria esterna	$T_e$	7,9	C
Temperatura terreno	$T_t$	10	C
Temperatura dell'aria interna	$T_i$	12,7	C
Potenza fornita dall'impianto di riscaldamento	$Q_r$	7,2	kW

$q_r$	$*A_c$	=	7200	W	100	%
$q_c = (T_i - T_e) / (1/h_i + S_c/\lambda_c + 1/h_e)$	$*A_c$	=	-2752	W	-38	%
$q_v = dp (J_i - J_e)$	$*A_c$	=	-814	W	-11	%
$q_t = h_t (T_i - T_t)$	$*A_t$	=	-730	W	-10	%
$q_{t,vc} = \sigma_0 \epsilon_{t,IRL} \tau_{cp,IRL} (T_t^4 - T_{vc}^4)$	$*A_t$	=	-541	W	-8	%
$q_{cp,vc} = \sigma_0 \epsilon_{cp,IRL} (T_{cp}^4 - T_{vc}^4)$	$*A_t$	=	-2339	W	-32	%



Circa il 70% del calore prodotto dall'impianto di riscaldamento è disperso dalla copertura verso la volta celeste per irraggiamento, con cielo parzialmente coperto, e dall'aria interna verso l'aria esterna attraverso la copertura per conduzione e convezione. La presenza di schermi termici può abbattere considerevolmente la quota parte di energia dispersa per irraggiamento verso la volta celeste, mentre l'utilizzo di coperture a doppio film, può abbattere l'altra quota parte di energia termica dispersa.

# Progettazione e posa in opera dell'impianto



Perforazione



Posa sonde



Collettori



Pompa di calore

Potenza termica	7	kW
Potenza assorbita totale	1.5	kW
C OP	4.67	
T ingresso condensatore	30	C
T uscita condensatore	35	C

# MONITORAGGIO



Contacalorie



Multimetro



Impianto idraulico



Contalitri



Impianto di riscaldamento



Valvola a tre vie



Impianto d'irrigazione

# MONITORAGGIO

Nel corso delle prove in serra, nei mesi di Nov. e Dic. 2010 e Gen. 2011, sono stati acquisiti i principali parametri fisici ed ambientali necessari allo studio climatico ed energetico del sistema sperimentale implementato.



## parametri climatici interni della serra:

- temperatura dell'aria
- umidità relativa dell'aria
- temperature del suolo

## parametri climatici esterni:

- temperatura dell'aria
- umidità relativa dell'aria
- velocità e direzione del vento
- Radiazione solare

## parametri fisici impianto:

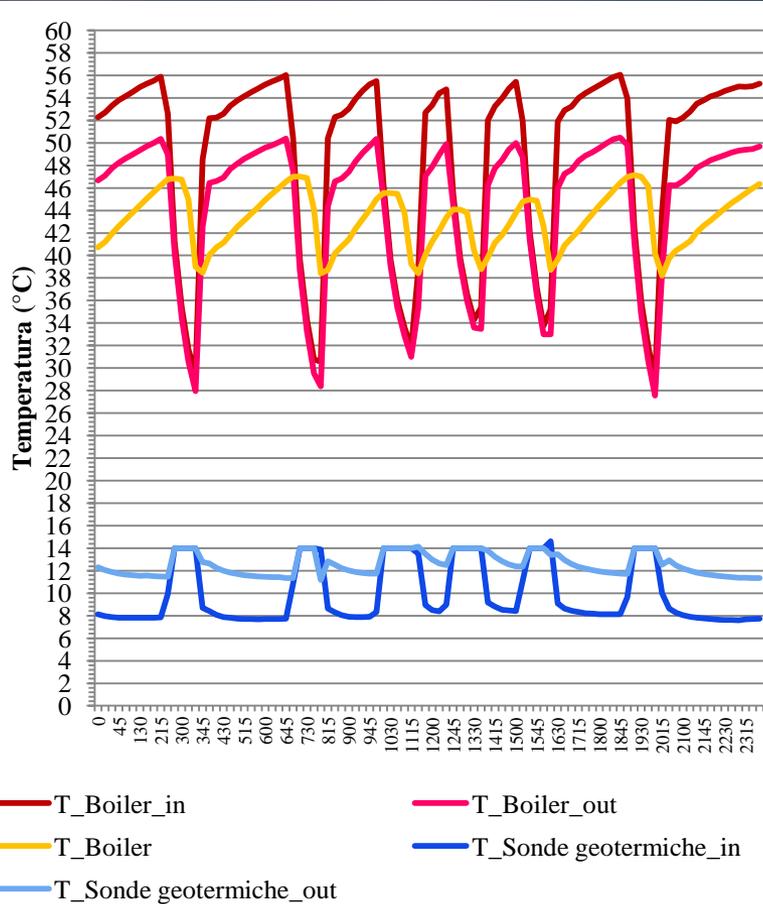
- temperatura e portata dell'acqua del sistema di riscaldamento
- energia elettrica assorbita
- calorie prodotte dall'impianto

Nel corso dei rilievi sperimentali sono state coltivate in serra piantine di lattuga per un riscontro produttivo delle condizioni microclimatiche.



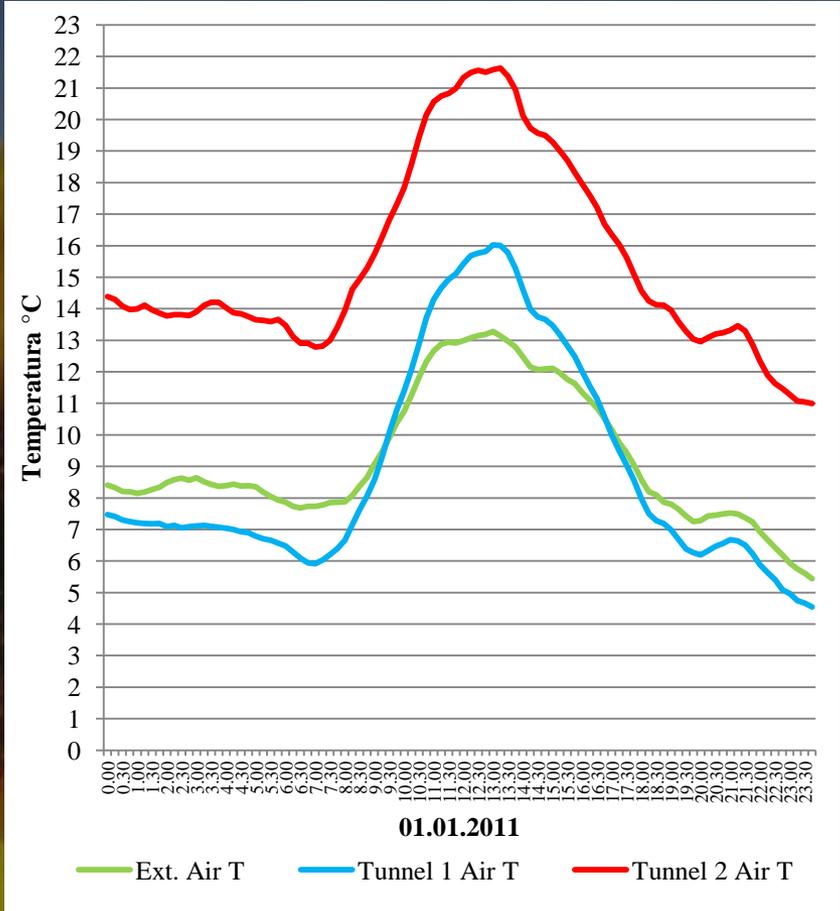
**RISULTATI**

## Temperatura di funzionamento del sistema



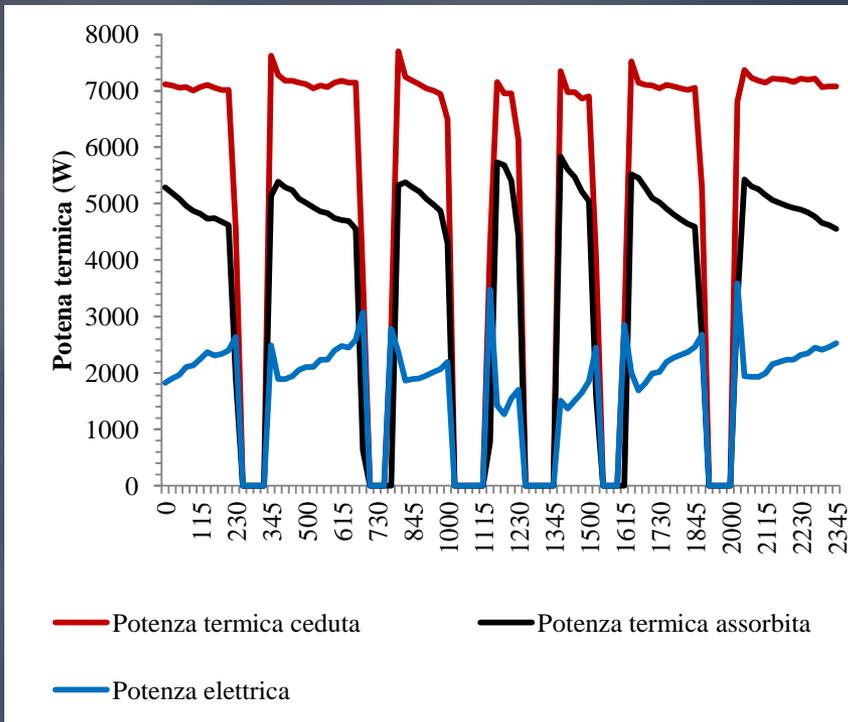
La temperatura del fluido vettore lato caldo «pompa di calore – boiler» varia fra 50 e 56 °C, con un  $\Delta t$  costante di 6 °C; mentre la temperatura lato freddo «pompa di calore – sonde geotermiche» varia fra 8 e 12 °C, con un  $\Delta t$  costante di 4 °C. Invece la temperatura del Boiler varia da 38 a 46 °C.

## Temperature aria serra calda, fredda e aria esterna

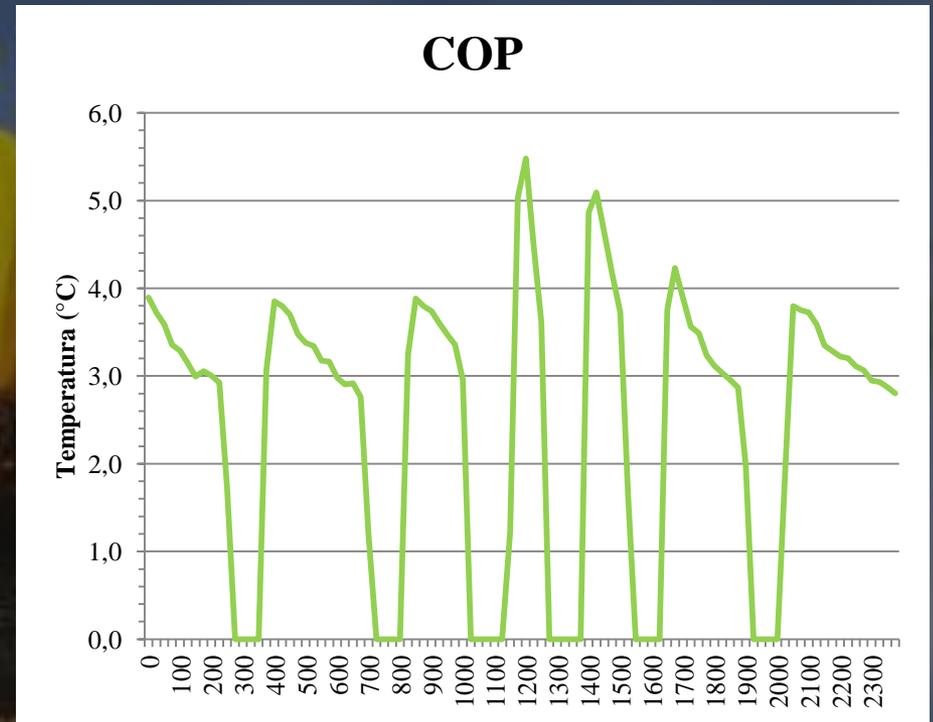


La temperatura dell'aria esterna, nel corso dell'anno, è scesa al di sotto di 2 °C, ma grazie all'impianto geotermico si è comunque mantenuta all'interno della serra una temperatura minima di 8 °C con un  $\Delta t$  costante fra aria interna ed esterna di 6 °C.

## Potenza impegnata dal sistema



## Coefficiente di prestazione della pompa di calore

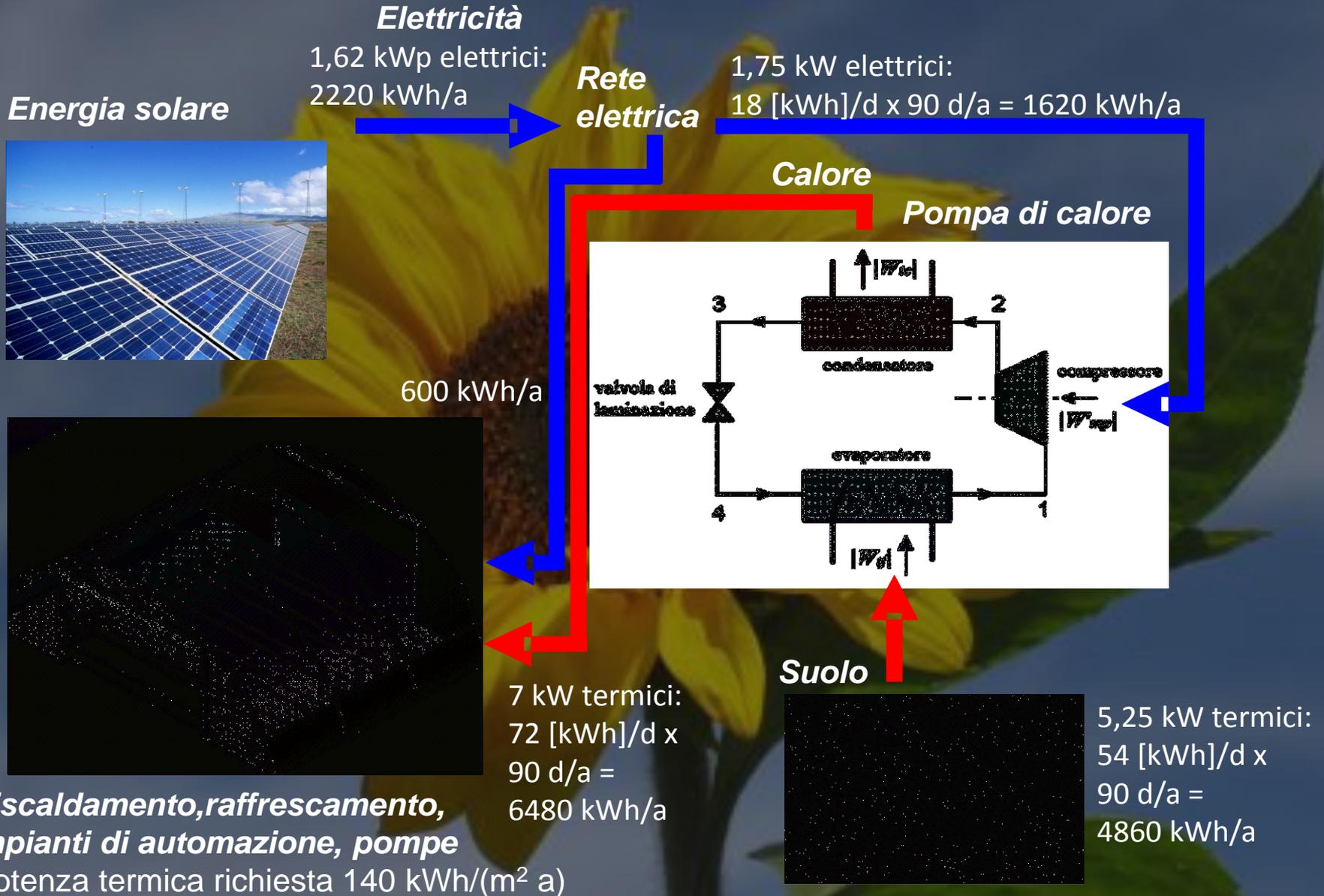


Considerando un  $\Delta t$  costante di 6 °C fra ingresso e uscita e una portata d'acqua pari a circa 17 l/min, si ha che la potenza termica di riscaldamento prodotta dalla pompa di calore è pari a circa 7 kW.

Considerando altresì una portata d'acqua sul lato sonde pari a 18 l/min, si ha che la potenza termica estratta dalla pompa di calore al terreno è pari a circa 5,3 kW. La potenza estratta dal terreno per metro lineare di sonda geotermica, di profondità pari a 120 m, è di circa 42 W/m.

La potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore è pari a circa 1,75 kW e quindi il coefficiente di prestazione (COP) che ne deriva è 4. Coefficienti di prestazione più elevati sono possibili riducendo le temperature di mandata al sistema di riscaldamento, tuttavia in tal caso è auspicabile ridurre anche la potenza termica estratta dal suolo al fine di non depauperare eccessivamente la sorgente geotermica e garantire un funzionamento robusto del sistema di riscaldamento.

# Flussi di potenza e di energia totali: fotovoltaico-geotermico-serra



## Quadro economico giornaliero del solo impianto geotermico

Energia termica annua richiesta (kWh/m <sup>2</sup> a)	Consumo energia termica giornaliera (kWh/m <sup>2</sup> gg)	Costo carburante per caldaia (€)	COP pompa di calore	Costo energia elettrica per pompa di calore (€)	Risparmio economico
140	1,5	0,2	4	0,08	60%

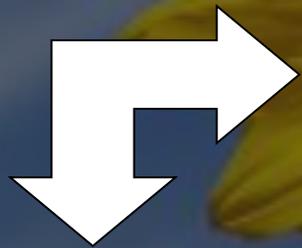
### Caldaia con bruciatore a gasolio:

Rendimento medio utile stagionale=80%	P.C.I. gasolio= 10.200 (Kcal/Kg)=11,86 (kWh/kg)	Gasolio: 0,12 (€/kWh)
Costo Gasolio(€/l)= 0,97	Massa volumica (Kg/l)= 0,835	Energia elettrica: 0,20 (€/kWh)

Rispetto a una caldaia alimentata a gasolio l'impianto a pompa di calore, senza considerare il fotovoltaico, permette un risparmio economico sul consumo energetico di circa il 60% con gli attuali costi del gasolio agricolo.

# PRODUTTIVITA' AGRICOLA

Dai risultati agronomici si evidenzia un aumento di peso medio della lattuga di circa il 30% fra serra riscaldata e serra fredda. Inoltre, l'anticipo sulla produzione ottenuto dal sistema di riscaldamento è superiore a 12 giorni.



serra non riscaldata

serra riscaldata

Specie	Temperatura a min. letale	Temperatura a min. biologica	Temperatura ottimale		Temperatura max. biologica
			Notte	Giorno	
Lattuga	(-2)-0	4-6	10-15	15-20	25-30



# CONCLUSIONI E RIFLESSIONI

- Fra tutti gli ambienti in cui è possibile installare impianti di energia geotermica a bassa entalpia il comparto serricolo è certamente il più idoneo grazie alla presenza di vaste aree nelle zone limitrofe alle serre ed alla semplicità delle opere necessarie all'ammodernamento degli impianti di condizionamento invernale.
- Le prove sperimentale hanno dimostrato che il solo impianto a pompa di calore geotermica a bassa entalpia a servizio di un insediamento serricolo, permette un risparmio di circa il 75% in termini energetici e del 60% in termini economici rispetto a una caldaia alimentata a gasolio agricolo, pur mantenendo un'elevata produttività agricola e senza considerare l'apporto del fotovoltaico.
- L'elevato investimento iniziale e l'elevata efficienza del sistema, lo rende ancor più economicamente conveniente soprattutto per impianti di media-grande dimensione come gli impianti serricoli.

# IMPIANTO PILOTA DEL DISAAT

FOTOVOLTAICO  
IDROGENO  
GEOTERMICO

Energia  
Solare

Riscaldamento, raffrescamento ed energia elettrica  
con un impianto stand-alone



FV: 6 kWp, 24 mod



Inveter  
da rete



300/600 VDC

Contatore di  
produzione GSE



230 VAC

Rete elettrica  
Contatore  
bidirezionale enel



Pompa di calore ,C.O.P.=4



Inverter / reg. carica



230 VAC



elettrolizzatore



Serbatoio idrogeno

500 NI/h

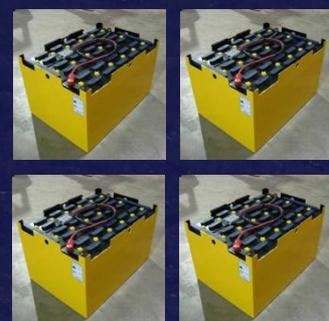


Fuel cells

H<sub>2</sub>, 30 bar



batterie



24/48 VDC

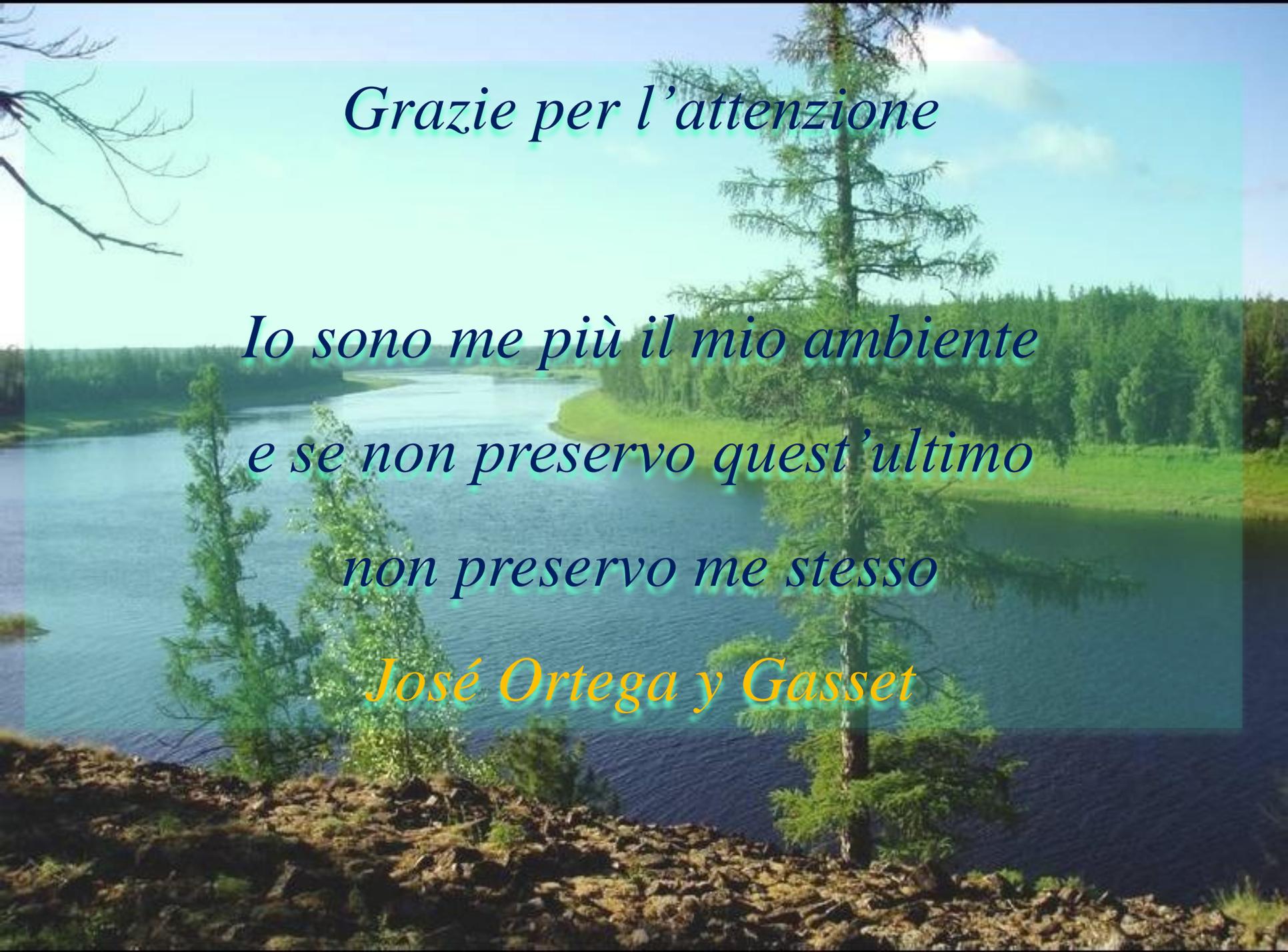
24/48 VDC



Calore "gratuito"



SORGENTE DI CALORE GEOTERMICA



*Grazie per l'attenzione*

*Io sono me più il mio ambiente  
e se non preservò quest'ultimo  
non preservò me stesso*

*José Ortega y Gasset*