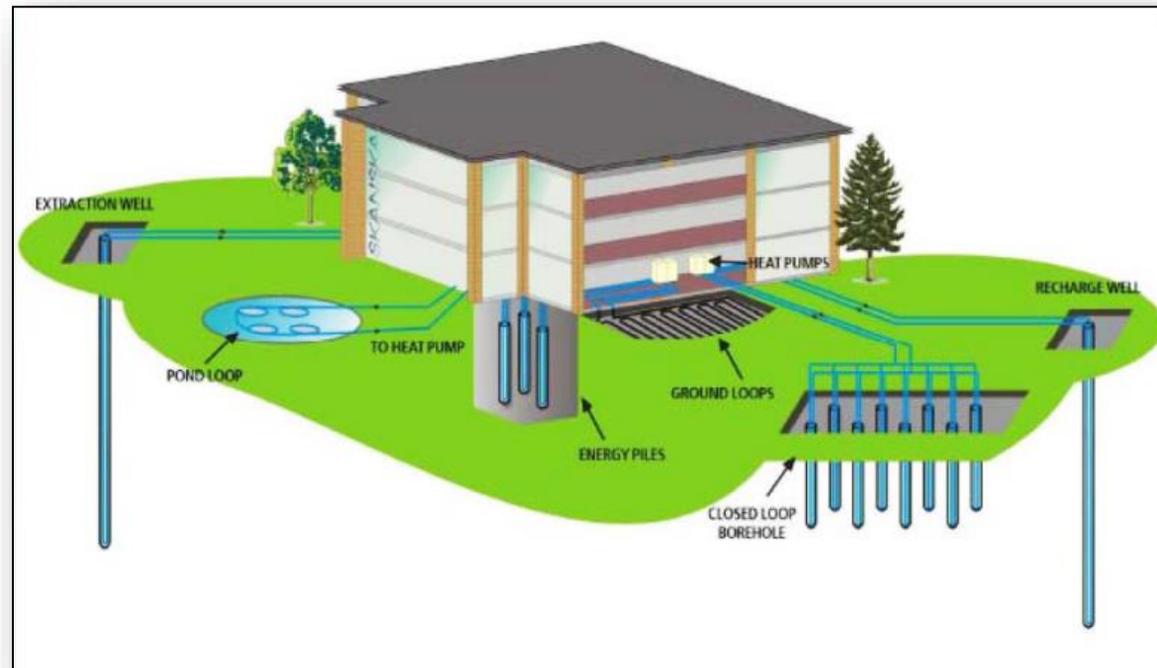


Corso Energia e sostenibilità nel XXI Secolo –aa. 2023-2024

Modulo di Geotermia: 2 LEZIONE: Geotermia per la climatizzazione



PRE-REQUISITI EDIFICIO-IMPIANTO

Isolamento termico dello stabile



Sistemi di erogazione a bassa temperatura



CASA PASSIVA



< 15 kWh/m² anno
< 30 kWh/m² anno
< 50 kWh/m² anno
< 70 kWh/m² anno
< 90 kWh/m² anno
< 120 kWh/m² anno
< 160 kWh/m² anno
> 160 kWh/m² anno

Fabbisogno di energia primaria
Certificazione Casaclima, certificazione energetica regionale
Norme UNI TS 11300: nuove regole per il calcolo del fabbisogno termico degli edifici



Sistemi diffusi: pannelli radianti
Sistemi concentrati: ventilconvettori

SORGENTI DI ENERGIA «GRATUITE»

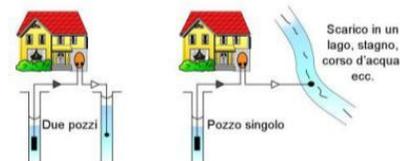
ARIA



Vantaggi
Disponibilità illimitata
Facile installazione
Costi contenuti
Svantaggi:
Basse efficienze
Rumori, Estetica

ACQUA

Falda

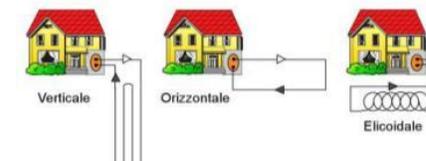


Fiumi, laghi, mare



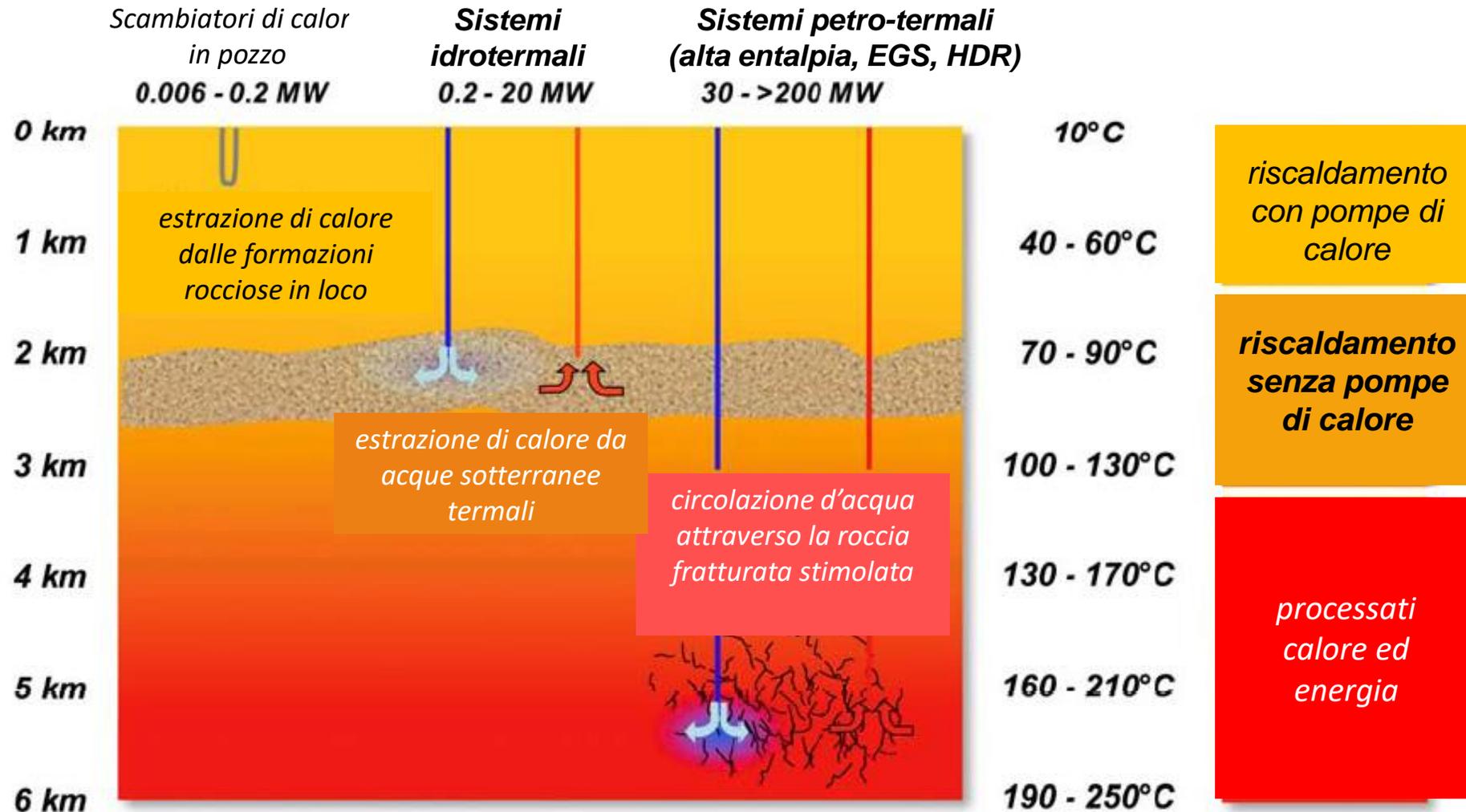
Vantaggi
Elevata efficienza
Facile installazione
Zero emissioni locali
Costi intermedi
Svantaggi:
Disponibilità limitata
Difficoltà autorizzative

TERRA (sottosuolo)



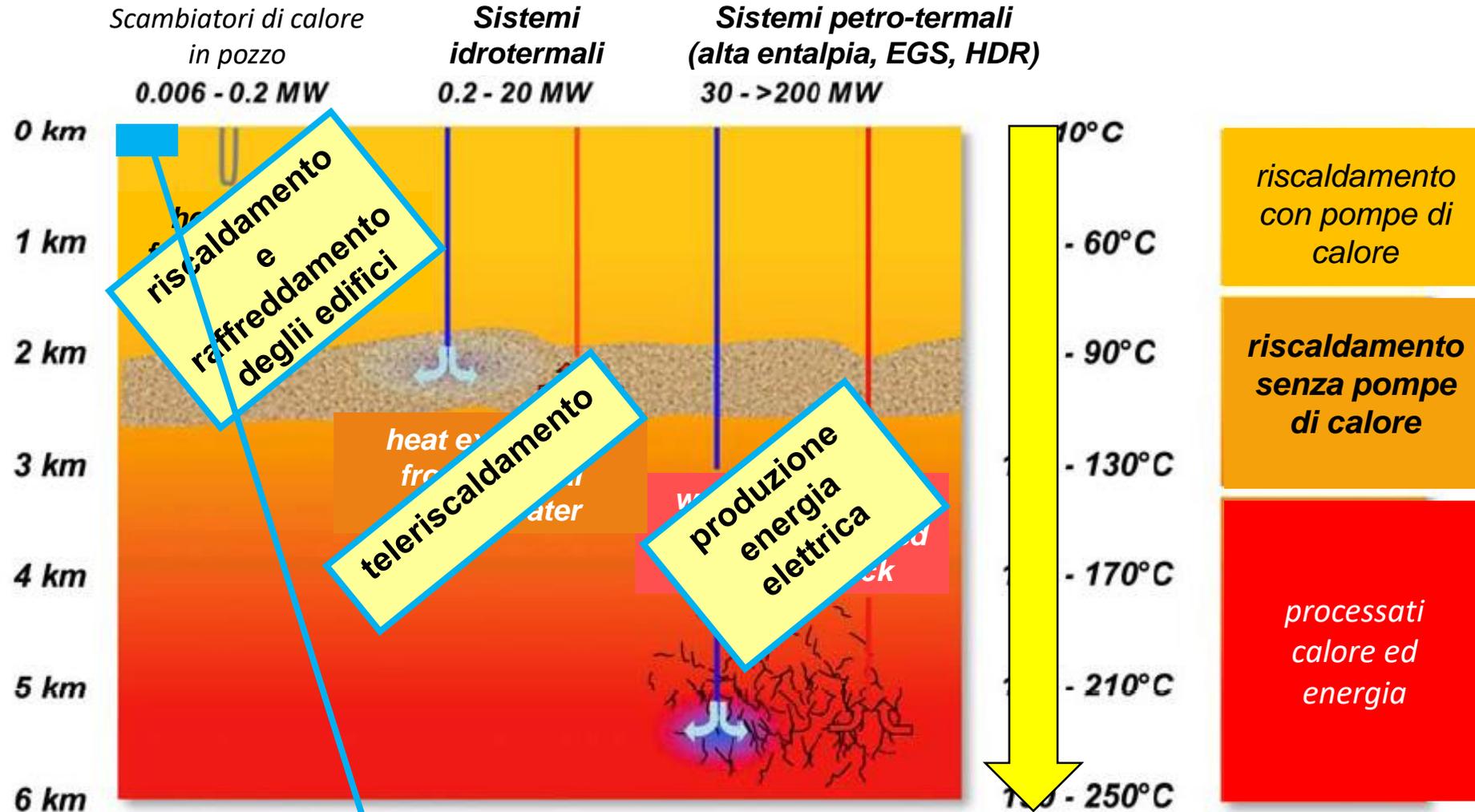
Vantaggi:
Disponibilità ubiquitaria
Notevoli efficienze
Basso impatto termico
Zero emissioni locali
Svantaggi:
Costo elevato campo sonde

COME SI PUÒ USARE L'ENERGIA GEOTERMICA?



le pompe di calore geotermiche **sono realizzabili ovunque**, **non** richiedono serbatoi ad **alta entalpia** come Larderello, ma serbatoi a **bassa entalpia** (cioè sistemi idrotermali e petrotermici)

COME SI PUÒ USARE L'ENERGIA GEOTERMICA?



ENERGIA GEOTERMICA SUPERFICIALE
(max profondità ≈ 450 m)

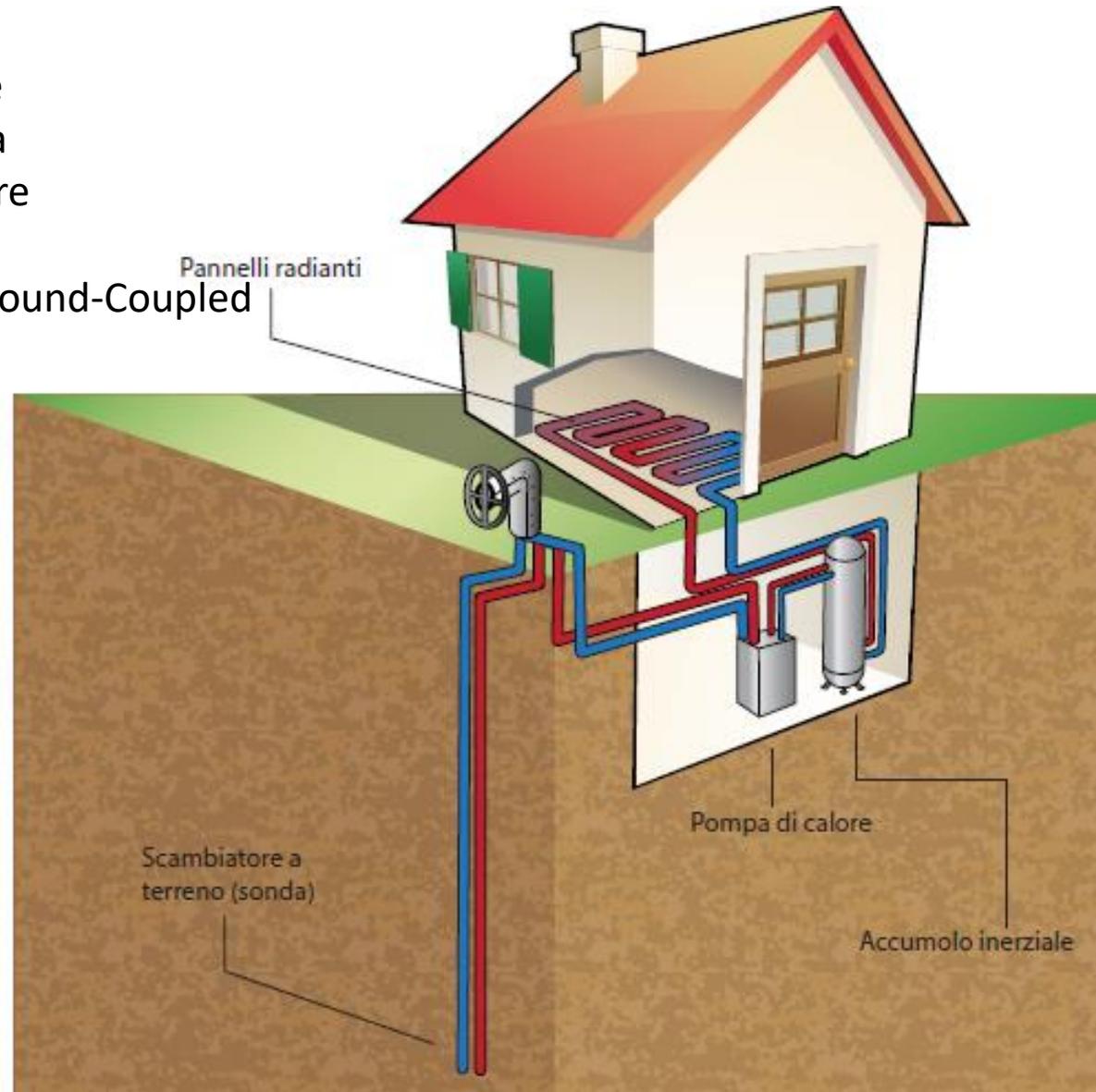
PERCHÈ SI USA L'ENERGIA GEOTERMICA?



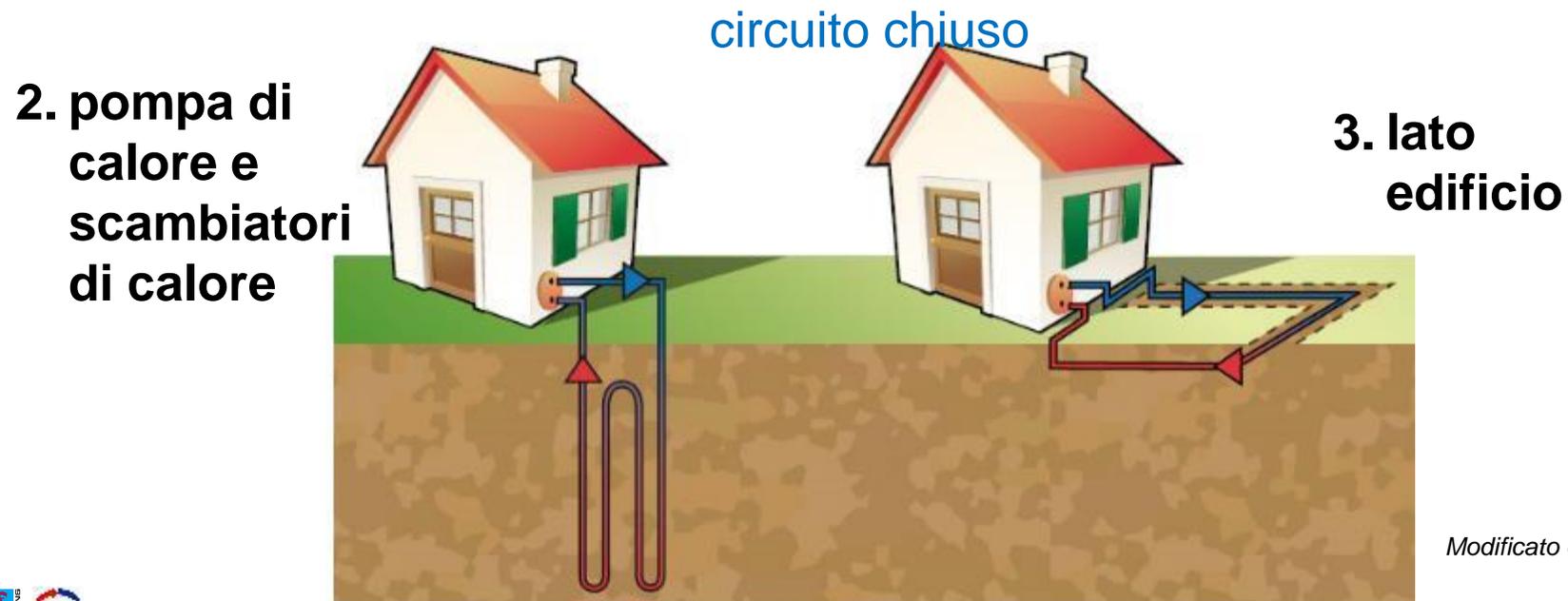
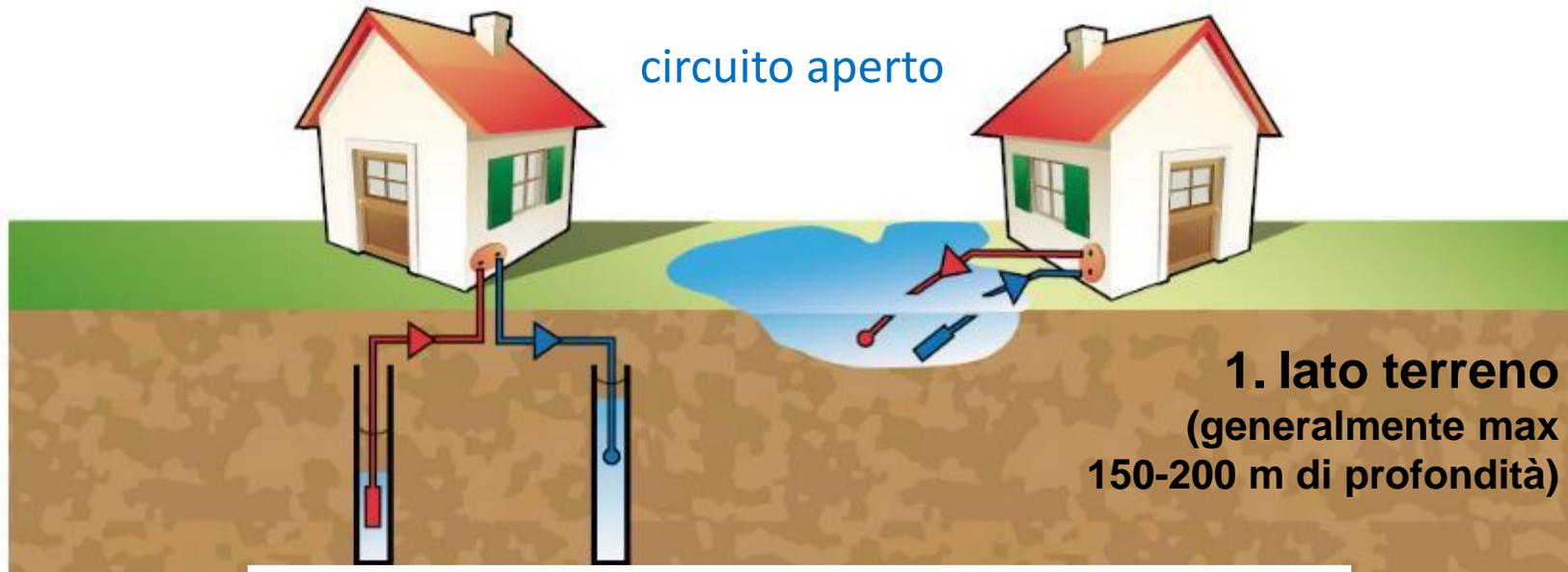
- *disponibile tutto l'anno*
- *alternativa ecocompatibile ai combustibili fossili*
- *contribuisce a ridurre le emissioni di gas a effetto serra*
- *diversifica il mix complessivo di approvvigionamento energetico*

ENERGIA GEOTERMICA A BASSA ENTALPIA

Tipica
configurazione
di un sistema a
pompe di calore
geotermiche
(GCHP, cioè Ground-Coupled
Heat Pump)



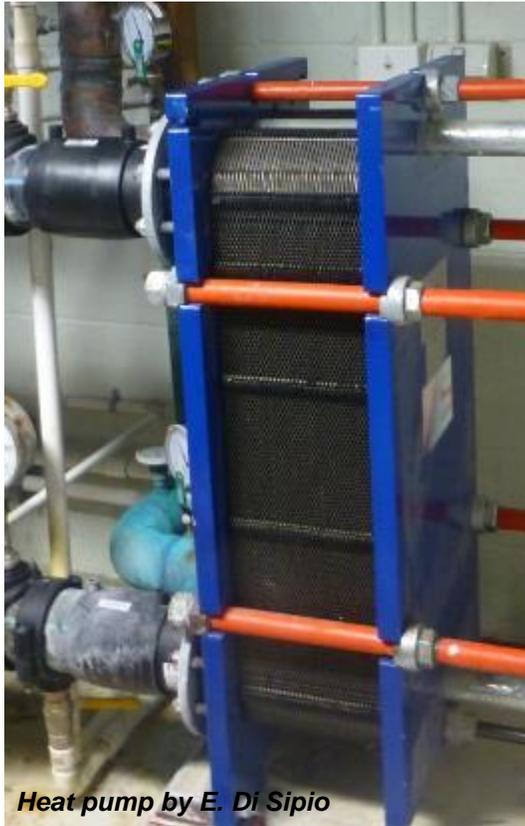
ENERGIA GEOTERMICA A BASSA ENTALPIA



Modificato da VIGOR Project

COME SI PUÒ USARE IL CALORE TERRESTRE?

ENERGIA GEOTERMICA SUPERFICIALE



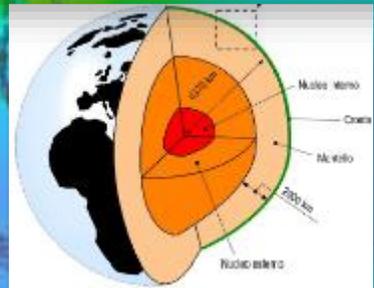
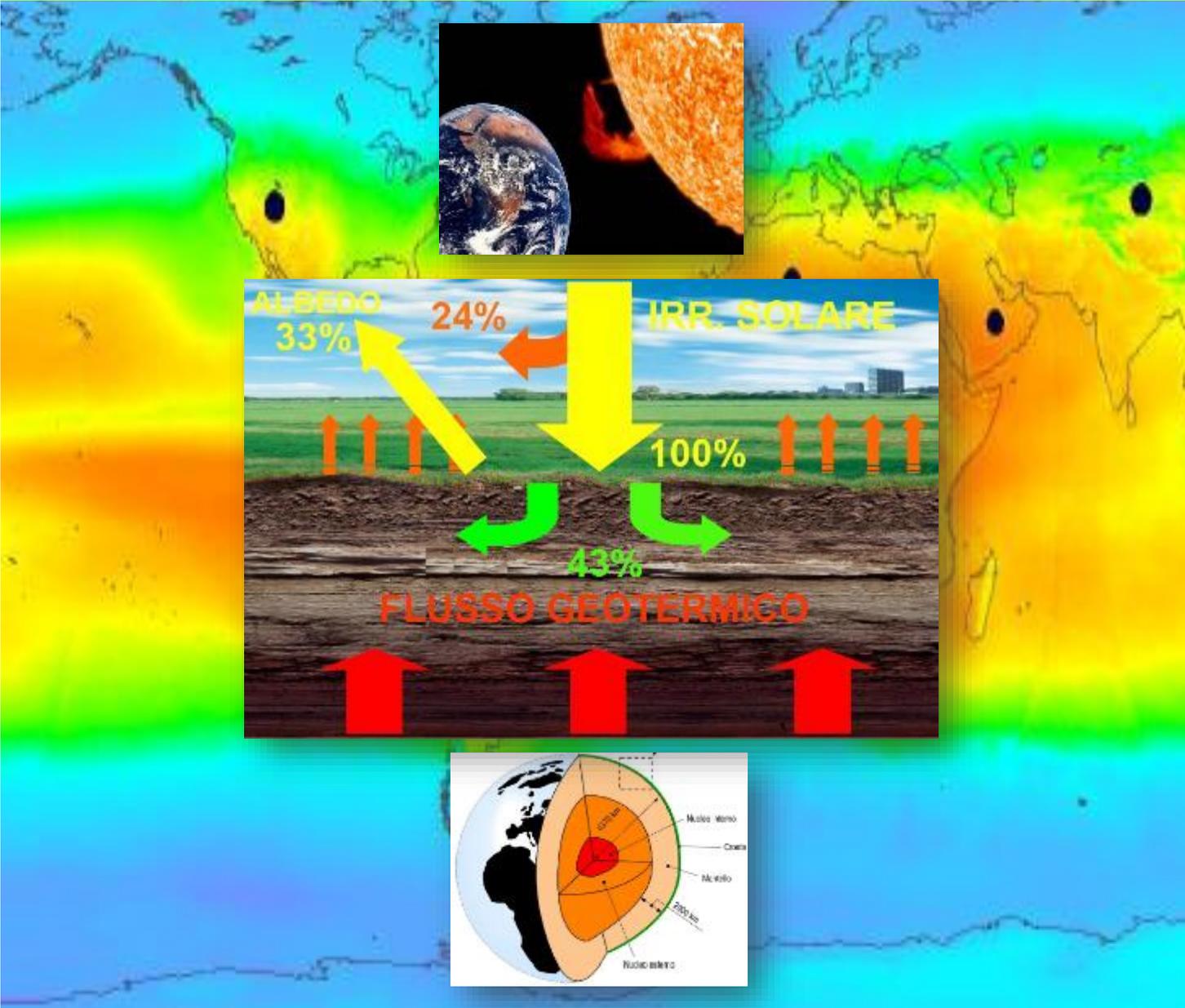
Heat pump by E. Di Sipio

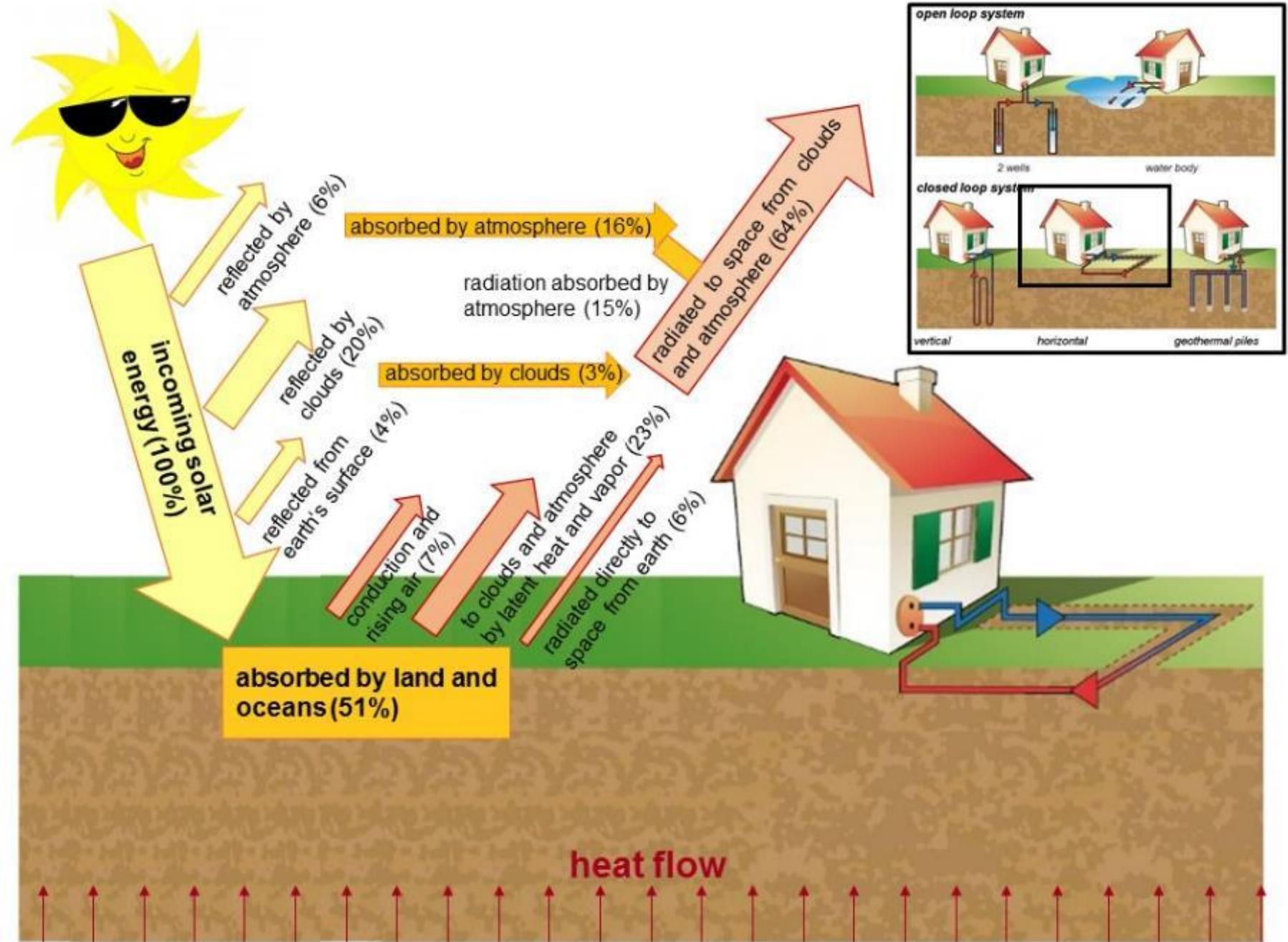


Field probes, Mestre, Italy, by A. Galgaro

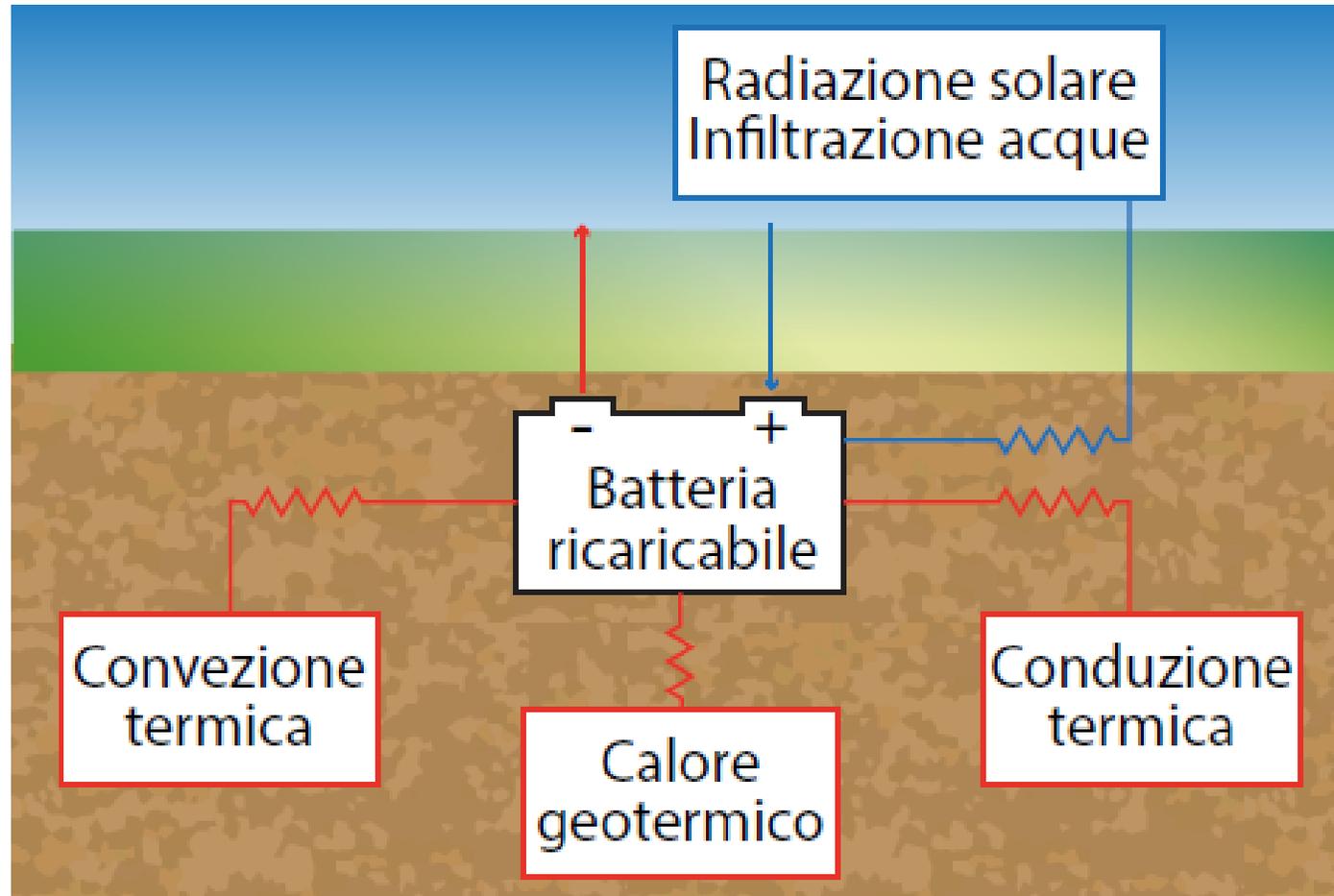
ENERGIA GEOTERMICA

d'origine radiogenica endogena e da radiazione solare;



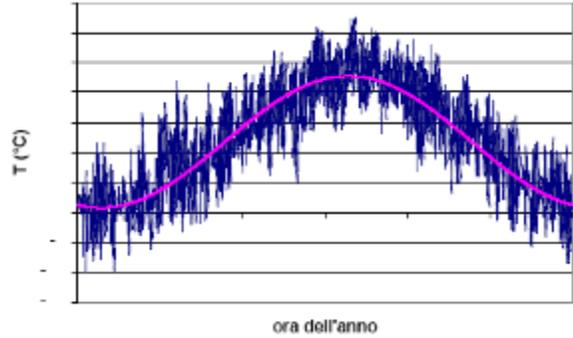


IL SOTTOSUOLO „BATTERIA RICARICABILE“

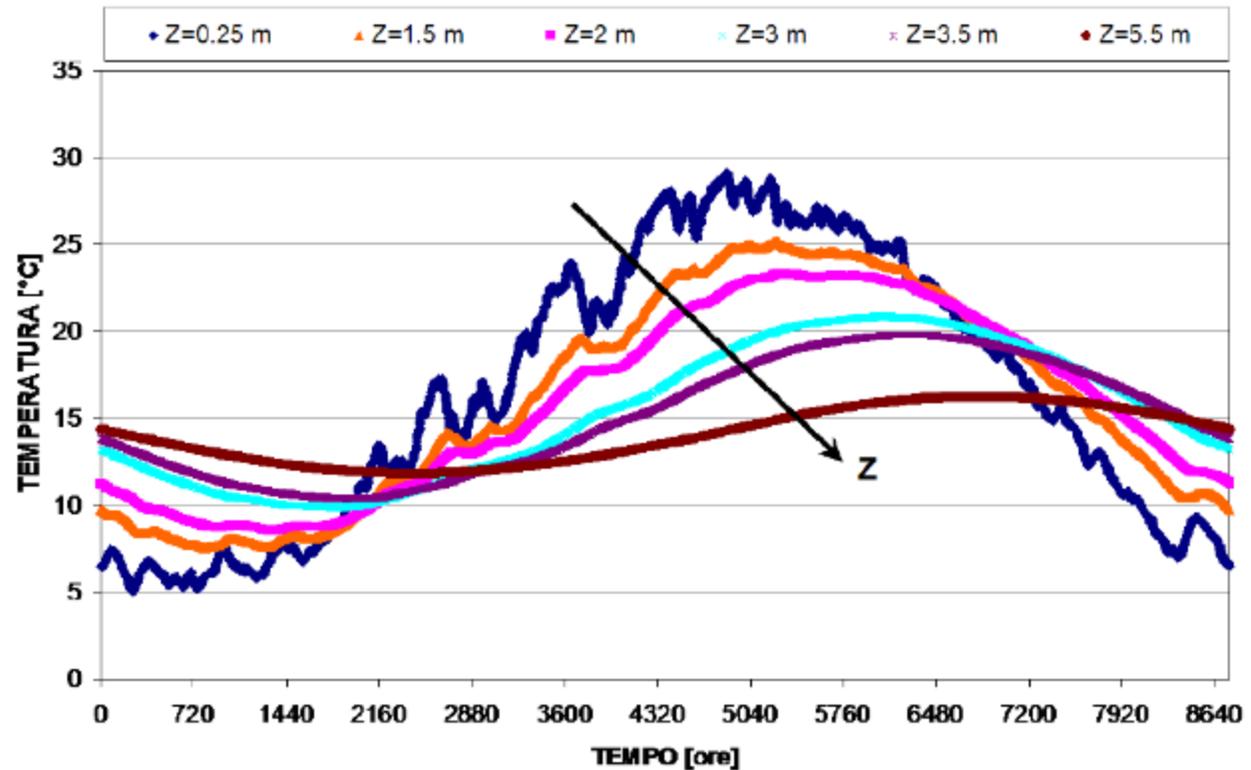


Il **sottosuolo** è inteso come **una massa di grande capacità termica** e utilizzato come **sorgente in un ciclo termodinamico** dal quale estrarre calore durante la stagione invernale ed al quale cederne durante quella estiva utile **per il riscaldamento e climatizzazione di edifici**

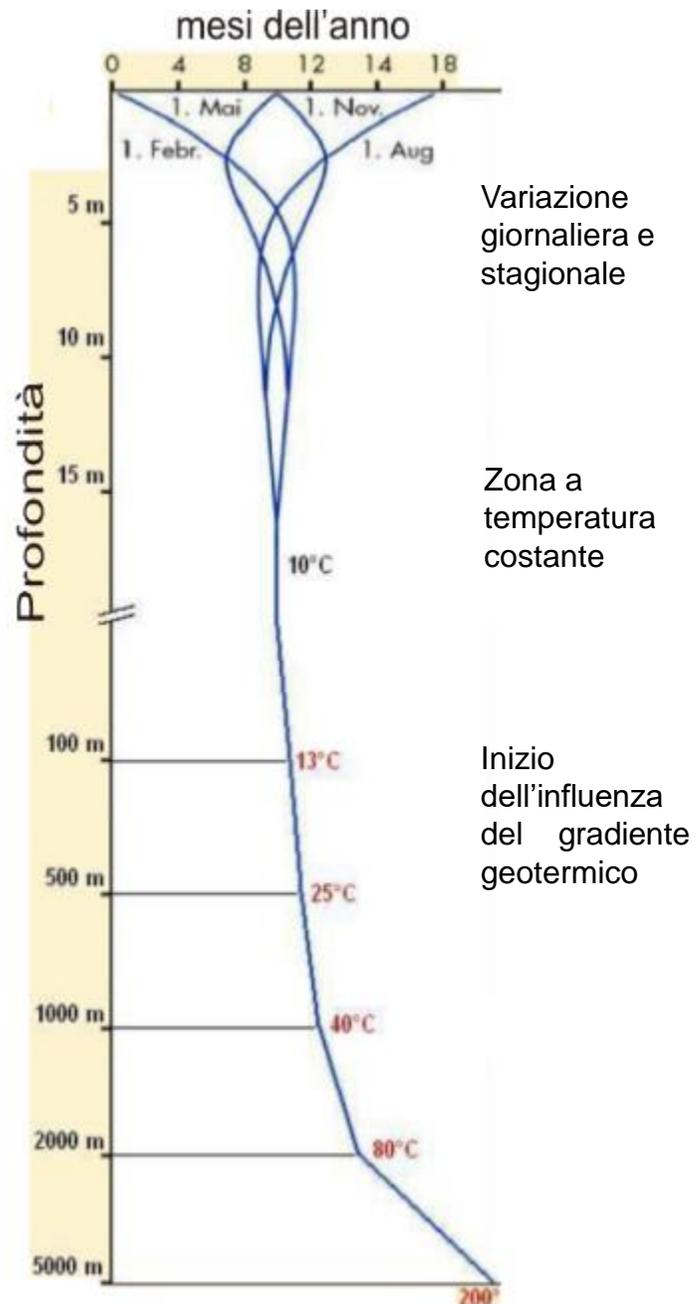
IL SOTTOSUOLO „BATTERIA RICARICABILE“



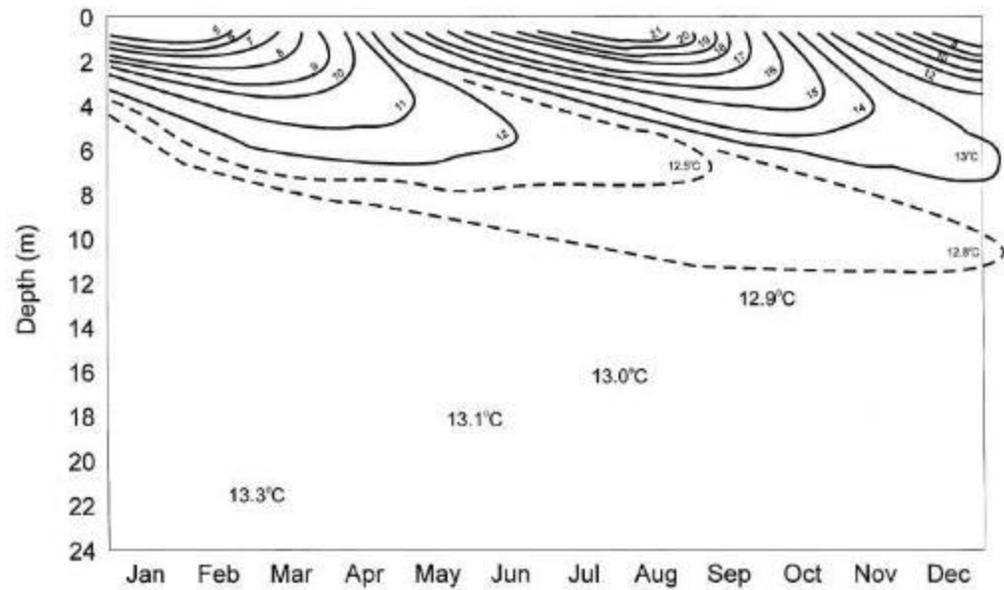
La temperatura dell'aria esterna varia con una periodicità giornaliera e annuale



In assenza di anomalia termica, la T del terreno si può considerare pressoché costante tutto l'anno ($\approx T$ media annua dell'aria nella località considerata). L'ampiezza dell'escursione termica giornaliera si riduce a un decimo a poche decine di centimetri di profondità, mentre quella dell'escursione termica stagionale si riduce dello stesso fattore a circa 6 metri di profondità

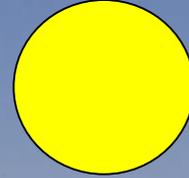


Andamento della temperatura nel sottosuolo



La temperatura del terreno risente del clima esterno solo negli strati superficiali (*effetto pelle*)

Photo by Dave Banks



Energia Solare

Da alcune decine a qualche centinaia di W/m^2



Zona superficiale risente dell'onda termica in aria

Capacità termica volumetrica= 1 to 2.5 $MJ/m^3/K$

Conduktività termica= 1 to 4 $W/m/K$

Al di sotto di circa 6-10 m, il sottosuolo assume valori di temperatura pari alla T media annua dell'aria

Flusso geotermico. Alcune decine di mW/m^2



Gli esempi del passato e di oggi



CITTÀ SOTTERRANEE

➤ **NEL PASSATO** (anche siti patrimonio mondiale dell'UNESCO)



CITTÀ SOTTERRANEE

➤ ATTUALE e NEL PASSATO



Che tipo di roccia?

Matera



- insediamento neolitico preistorico
- la città antica, "I Sassi", è patrimonio dell'UNESCO dal 1993
- T costante durante l'anno

CITTÀ SOTTERRANEE

➤ ATTUALI - ambienti estremi



Che tipo di roccia?



Coober Pedy



- grotte scavate nelle colline
- fuori $T > 40^{\circ} C$; T_m aria = $30-32^{\circ} C$;
- non è necessario l'aria condizionata
- città costruita nel 1915, città mineraria (opale)

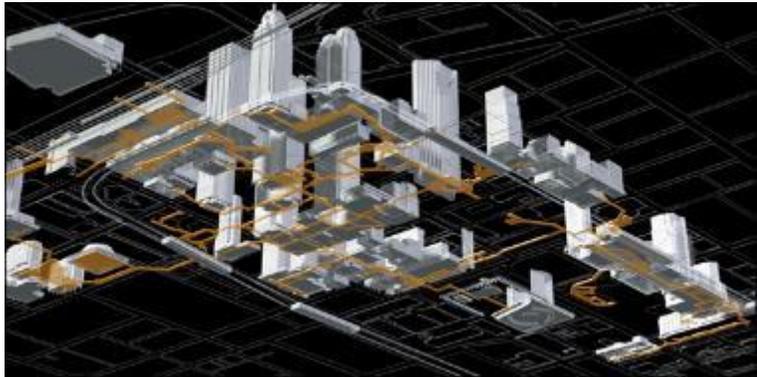
CITTÀ SOTTERRANEE

➤ ATTUALI - ambienti estremi

Toronto



Montreal



- climi molto freddi
- complesso commerciale sotterraneo
- non solo i servizi di trasporto pubblico



CITTÀ SOTTERRANEE

➤ CITTÀ DI FANTASIA O REALI?



Hobbit Hole, Lord of the Rings



Capanna tradizionale Selkup, Narim, Siberia



Tatooine, Star wars



Tataouine, Tunisia

PERCHÈ VIVERE SOTTOTERRA?

vantaggi delle case sotterranee:

- resistenza alle intemperie (T caldo e freddo)
- spazio di vita tranquillo
- presenza discreta nel paesaggio circostante,
- temperatura interna pressoché costante a causa delle proprietà isolanti naturali del terreno circostante
- efficienza energetica
- compatibilità ambientale
- materiali naturali

svantaggi

- possibilità di allagamento
- possibili cadute o scivolamenti di roccia
- illuminazione interna insufficiente
- creazione di crateri, doline
- fessure negli edifici

Villa Aeolia (VI): un esempio di sistema geotermico naturale (1560)

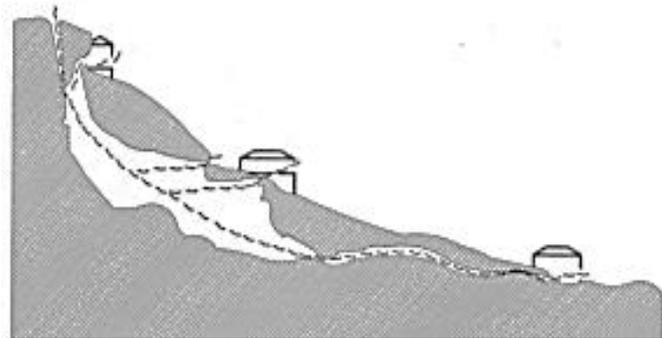
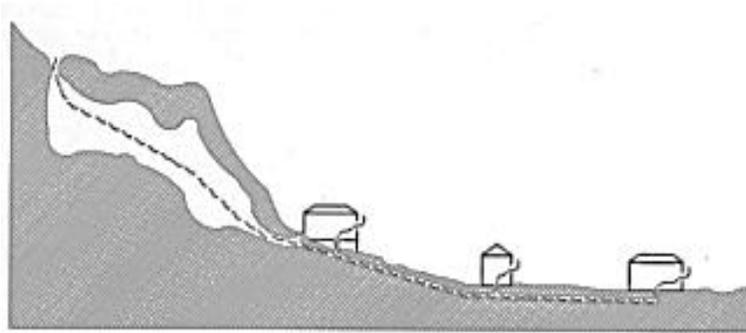
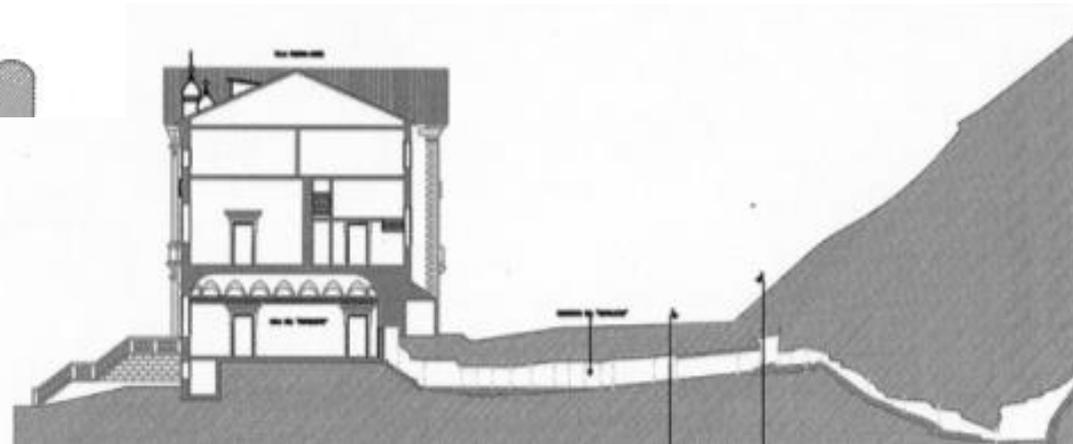


Fig. 6 - Villa Aeolia, facciata principale.



IMPIANTI A CIRCUITO CHIUSO

lo scambio termico con il terreno è realizzato tramite le cosiddette sonde geotermiche in cui circola un fluido termovettore (acqua o altro).

Le sonde geotermiche sono di diversi tipi, suddivisibili in tre categorie: sonde orizzontali, sonde verticali e geostrutture

Schema di un sistema a ciclo chiuso con sonde verticali

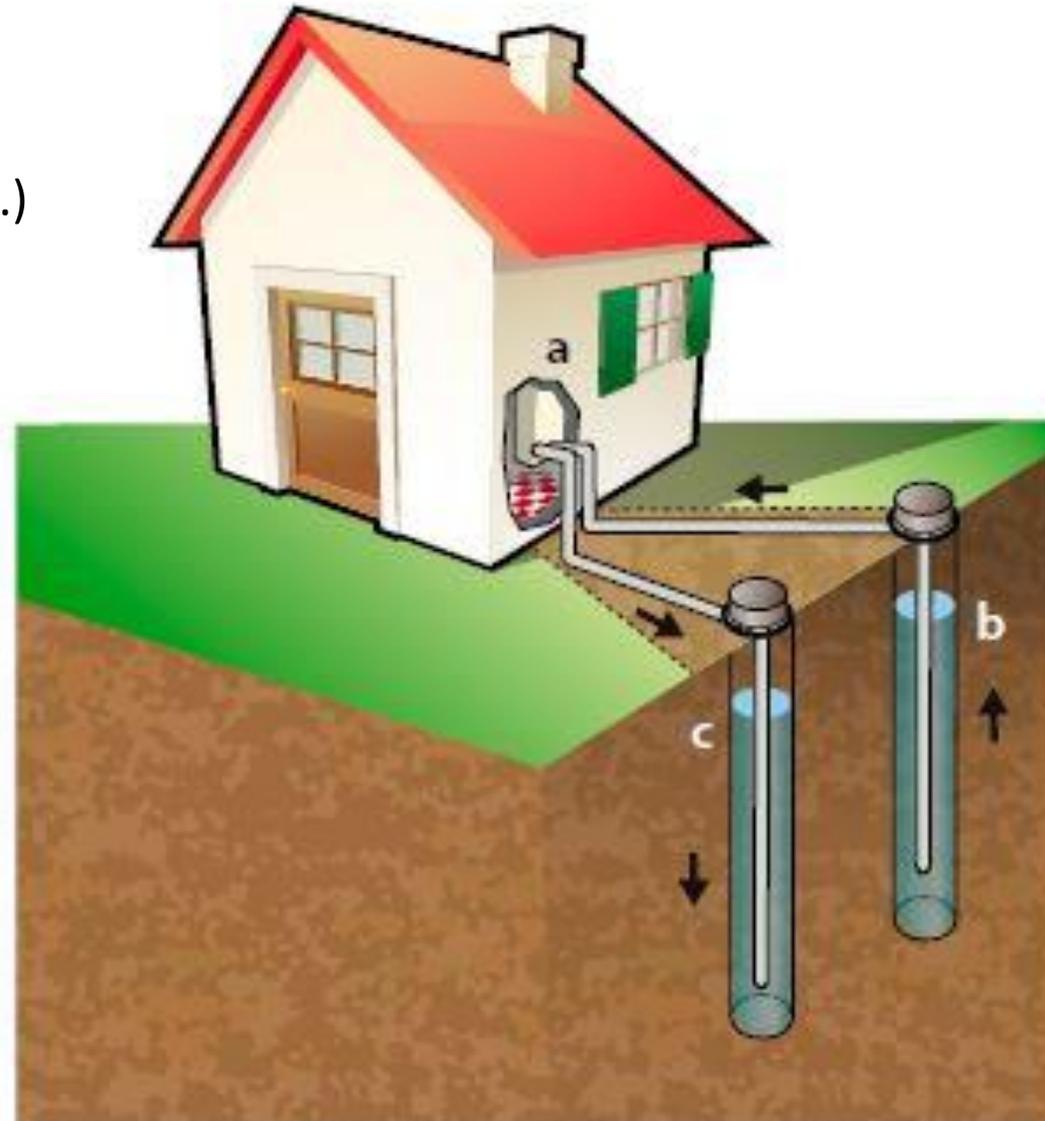


IMPIANTI A CIRCUITO APERTO

estraggono direttamente
acqua da una falda o da un
corpo d'acqua
superficiale (lago, fiume ecc.)
da cui
viene prelevato o ceduto
calore tramite
uno scambiatore.

Schema di un sistema
di scambio aperto
dotato di :

- (a) scambiatore di calore;
- (b) pozzo di prelievo
- (c) pozzo di re-immissione dei fluidi.

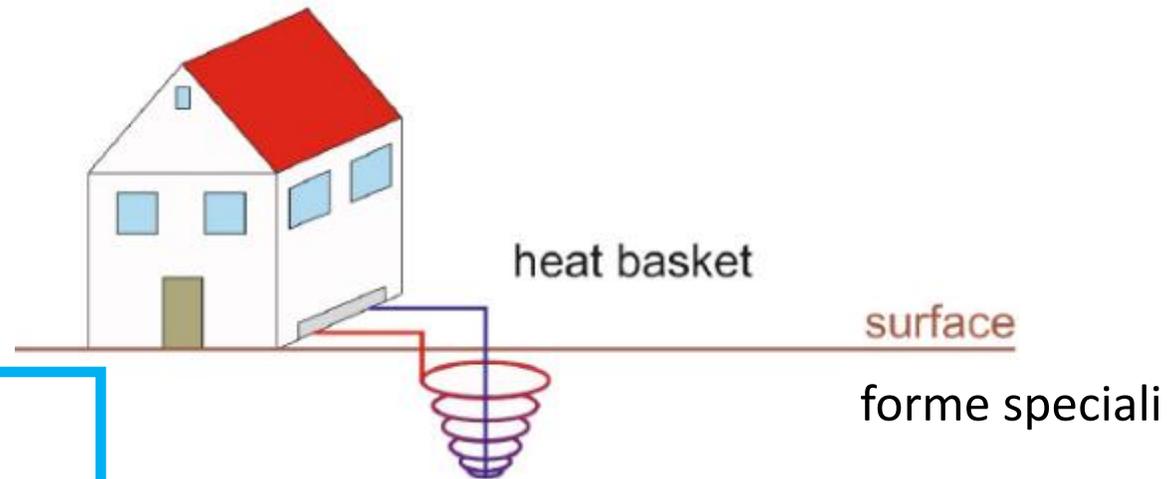
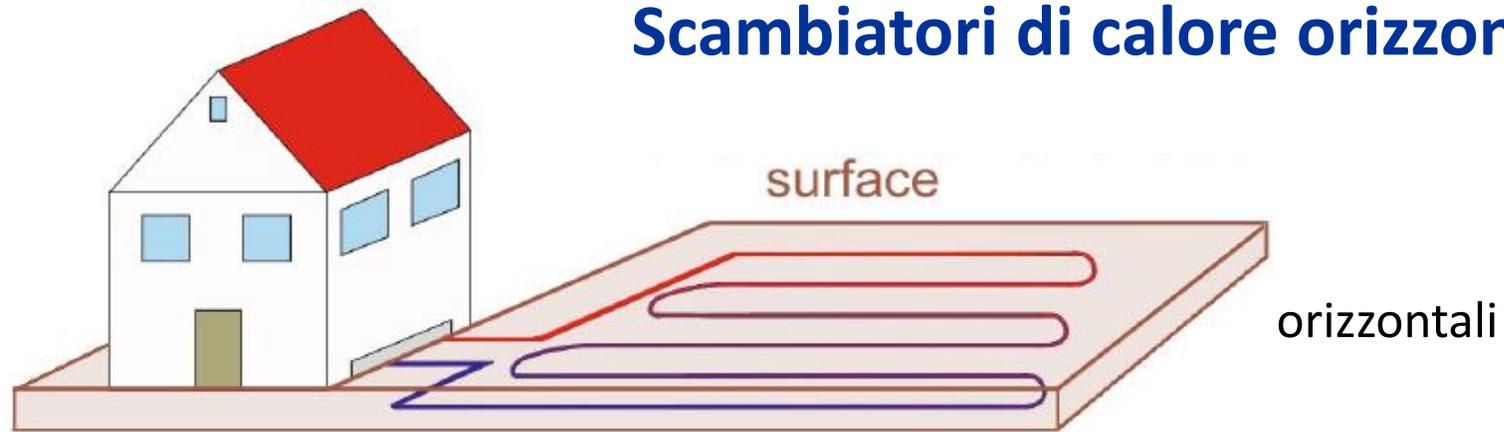


Perforazione a doppia testa per sonde geotermiche verticali:



Trevi-Soilmec-RTC

Scambiatori di calore orizzontali



ENERGIA GEOTERMICA SUPERFICIALE

open loop system

2 wells

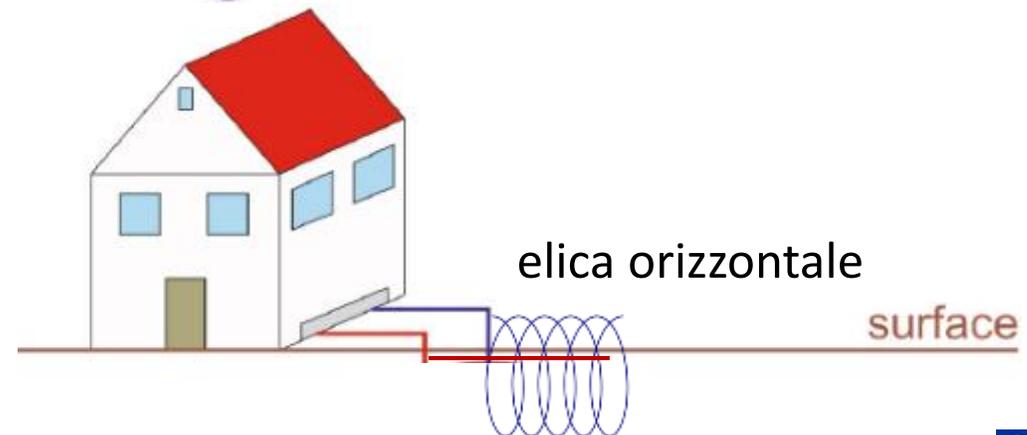
water body

closed loop system

horizontal

geothermal piles

A blue-bordered box containing two diagrams. The top diagram, titled "open loop system", shows two houses on a green hill. One house has a well with a pump, and the other has a well with a return. A blue "water body" is shown between them. The bottom diagram, titled "closed loop system", shows three houses. The first has a vertical well labeled "horizontal". The second has a horizontal loop in the ground. The third has vertical wells labeled "geothermal piles".

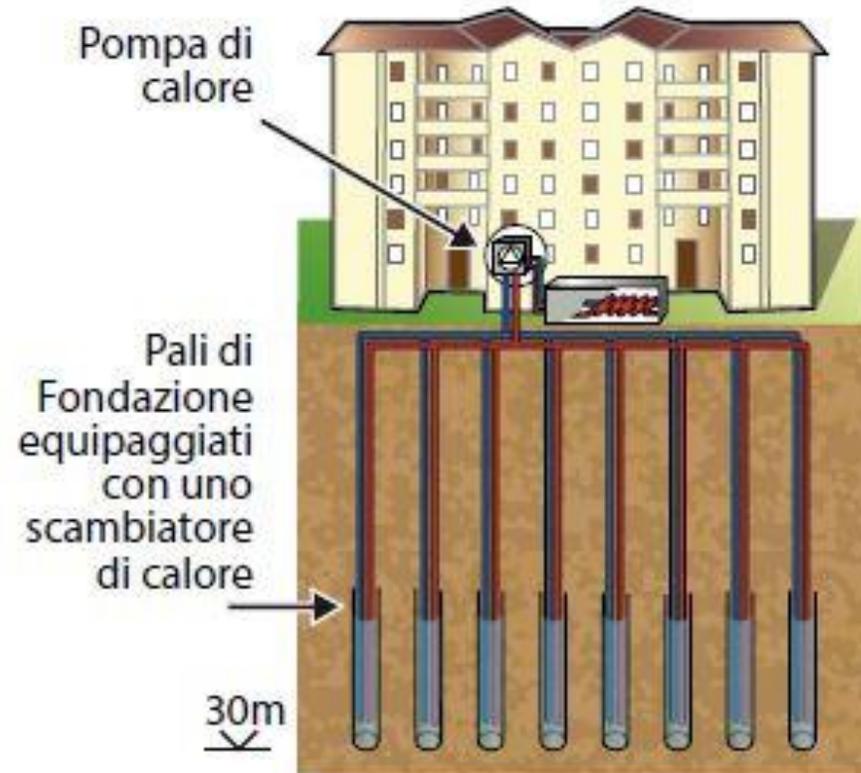


Geostrutture energetiche

Le **geostrutture** sono opere **sotterranee** realizzate in situazioni dove è necessario aumentare la capacità portante del terreno (ad esempio pali, pareti, solette, o fondazioni a pozzo).

Nella maggioranza dei casi **non superano i 40 m di profondità**.

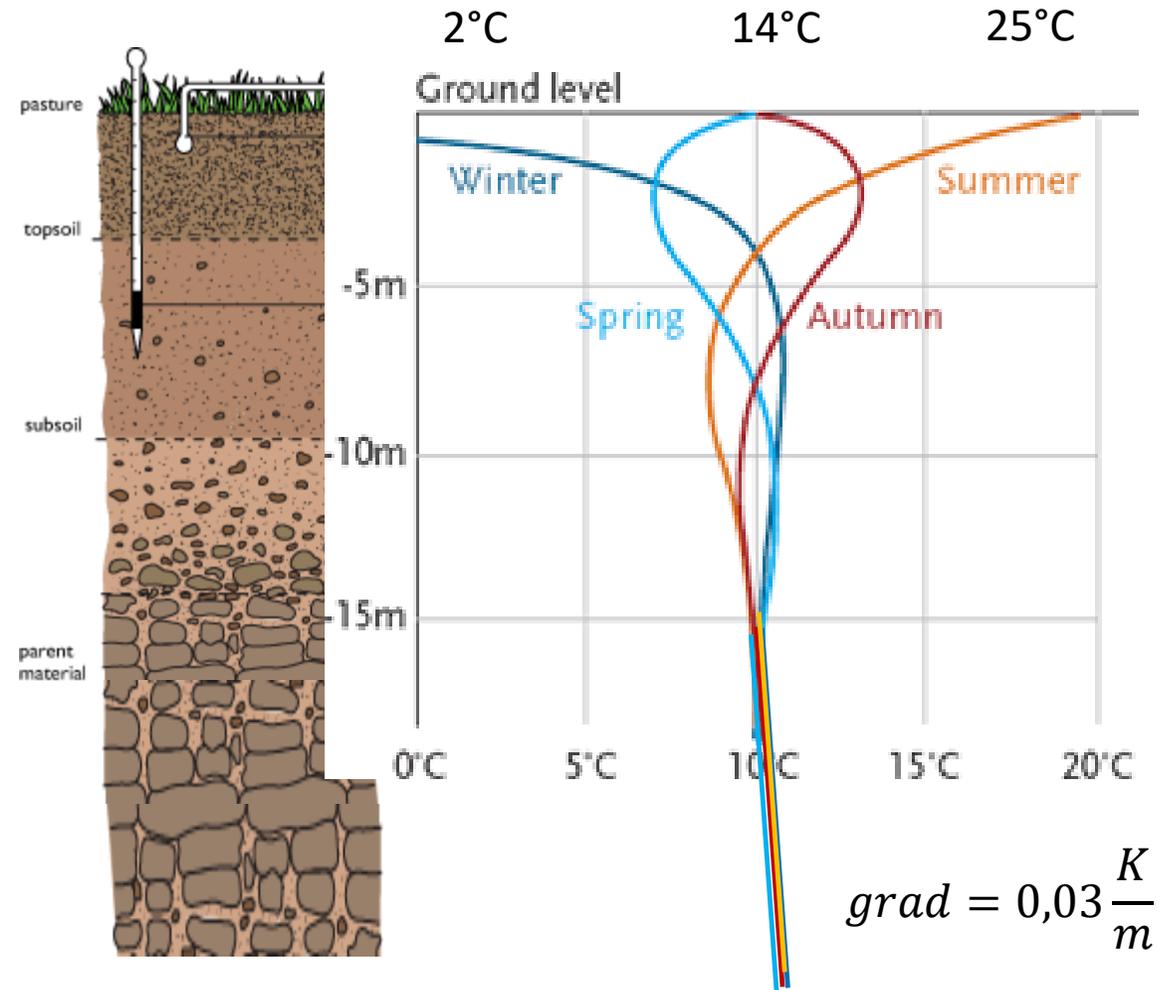
Vengono **equipaggiate con degli scambiatori di calore** durante la loro installazione.



andamento delle temperature nel terreno

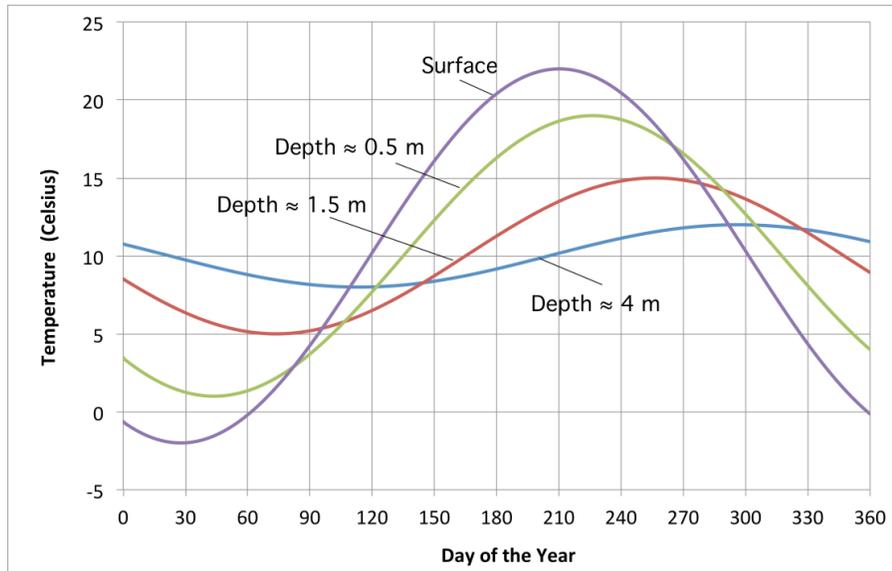
Sino alle profondità raggiungibili con le moderne tecniche di perforazione, il gradiente geotermico medio è **2,5°-3°C ogni 100 m**
→ in vaste regioni il gradiente geotermico si discosta sensibilmente da quello medio, assumendo valori inferiori o anche maggiori di 10 volte **aree di anomalia termica**

(es. zona Colli Euganei il flusso geotermico arriva a $600\text{mW/m}^2 = 0,6\text{W/m}^2$)



$$\text{heat flux} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \text{grad} \times \lambda$$

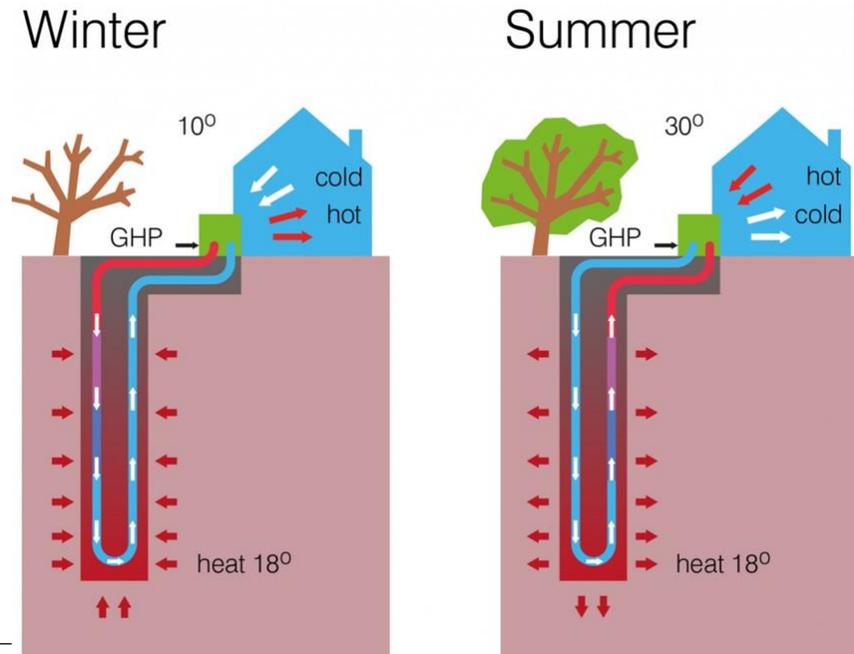
andamento delle temperature nel terreno



1. la sinusoide, con l'aumentare della profondità, **riduce la propria ampiezza di oscillazione e si sposta nel tempo**
2. A circa **10 m di profondità** l'oscillazione sparisce e la **temperatura si stabilizza** ad un valore pari a quello della media annuale delle temperature dell'aria

→ a maggiore profondità si ottiene una stabilizzazione migliore della temperatura rispetto all'esterno → **aumenta l'efficienza** di scambio termico, rispetto a quello che utilizza come sorgente l'ARIA esterna

→ **il momento di massima richiesta termica dell'edificio è contemporanea ad una temperatura del terreno più favorevole all'estrazione/cessione di calore** (viceversa per il raffrescamento che in riscaldamento)



Geotermia a bassa entalpia/ gli elementi base

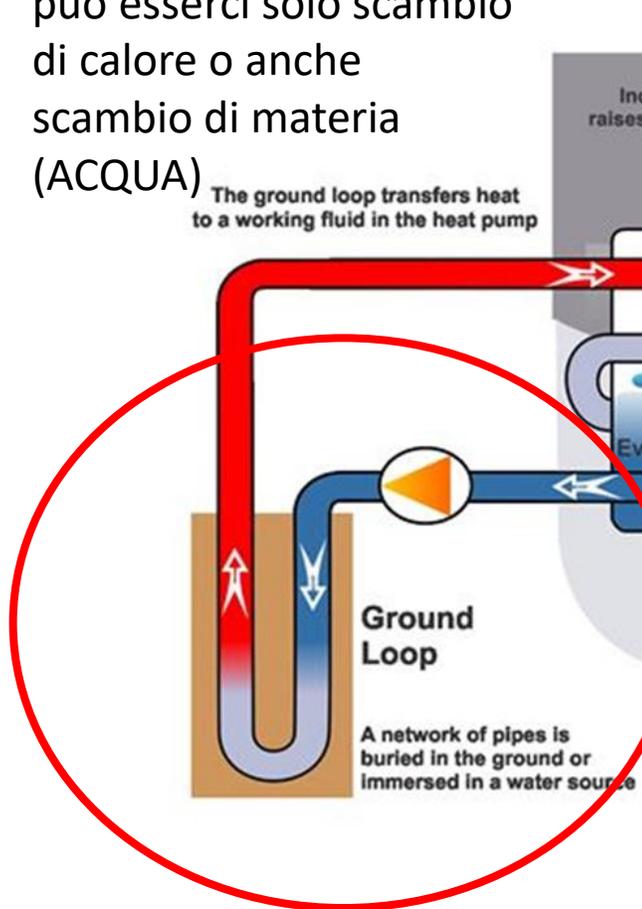
UN SISTEMA DI GEOSCAMBIO:

- **scambia calore con il terreno sia d'inverno che d'estate** → un unico impianto per soddisfare tutte le esigenze di climatizzazione (riscaldamento + raffrescamento + produzione di ACS)
- **sfrutta l'inerzia termica del terreno** (sempre alla medesima temperatura per tutto l'anno) → scambio termico vantaggioso → sistema di climatizzazione che **consuma meno energia primaria dei sistemi tradizionali**
 - risparmio energetico
 - diminuzione dei picchi di consumo energetico estivo
- **utilizza una risorsa (il calore della Terra)**
 - inesauribile** (→ ENERGIA SOSTENIBILE)
 - ubiquitaria** (→ non come il solare, l'eolico o l'energia geotermica)
- **può sostituire i sistemi tradizionali di riscaldamento a combustibili fossili**
 - diminuzione impiego combustibili fossili
 - diminuzione delle emissioni di polveri sottili
- **può sostituire i sistemi tradizionali di raffrescamento (chiller)**
 - diminuzione impatto estetico e acustico
 - offre una soluzione in particolari condizioni architettoniche

Geotermia a bassa entalpia/ gli elementi base

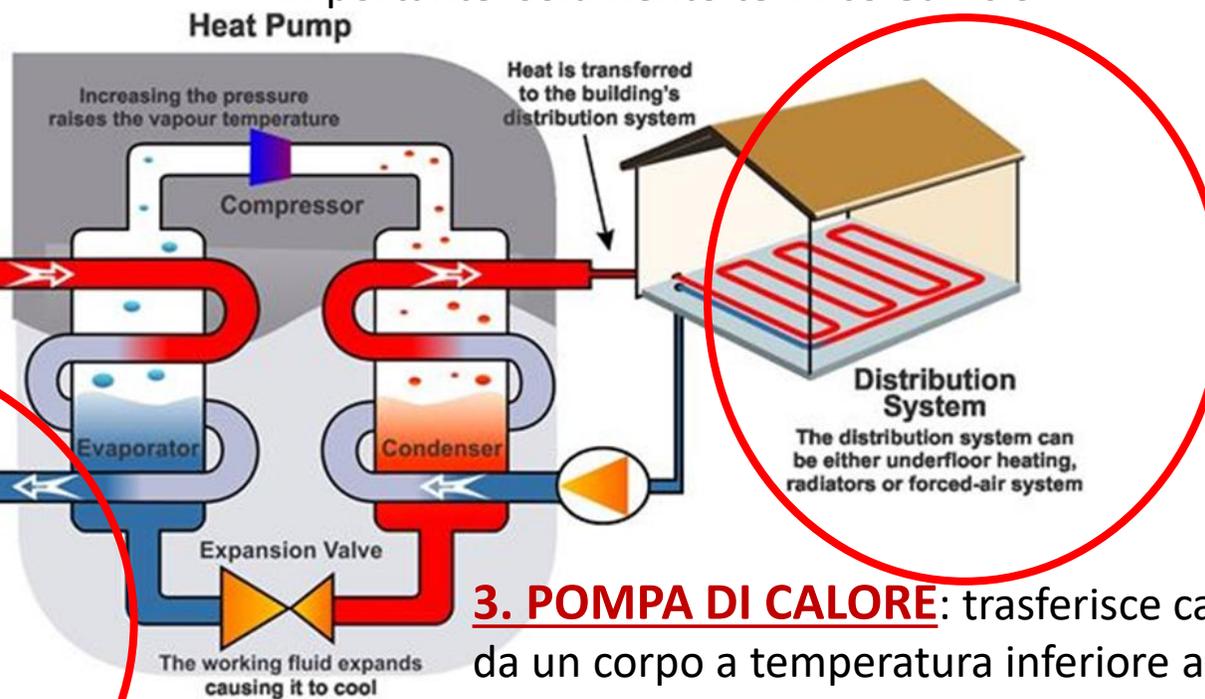
1. SCAMBIATORE DI CALORE A TERRA

può esserci solo scambio di calore o anche scambio di materia (ACQUA)



2. UN IMPIANTO INTERNO ALL'EDIFICIO DI DISTRIBUZIONE DI CALORE E FRESCURA:

- terminali di impianto a bassa temperatura (acqua a 40°C) e grande superficie di scambio
- importante isolamento termico edificio

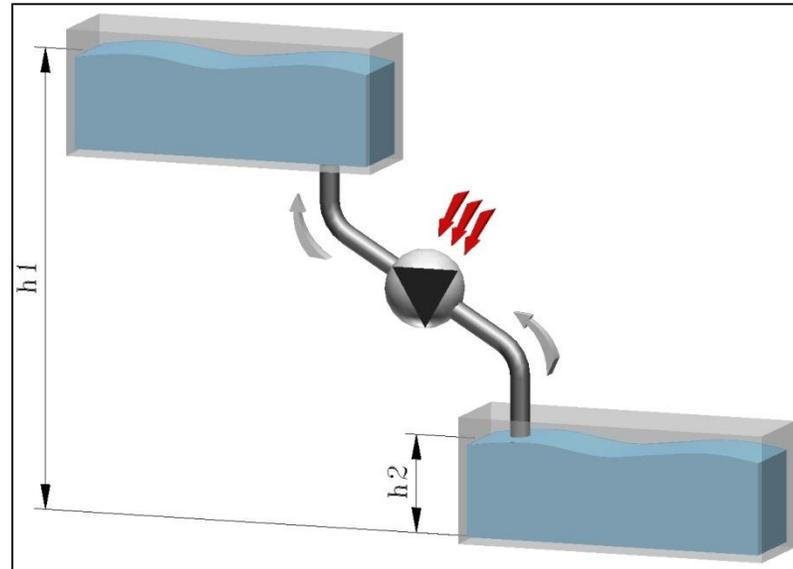


3. POMPA DI CALORE: trasferisce calore da un corpo a temperatura inferiore ad uno a temperatura superiore spendendo energia elettrica (ciclo di Carnot inverso)
→ di 4kWh di calore necessario all'edificio, 3 kWh vengono dal terreno e solo 1 viene speso di energia elettrica)

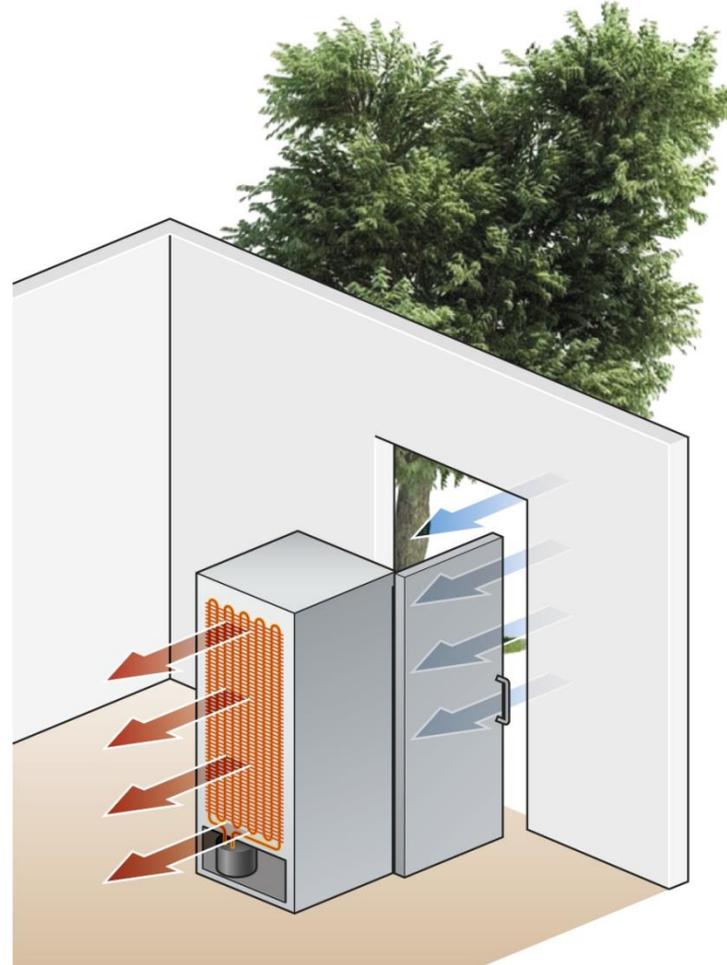
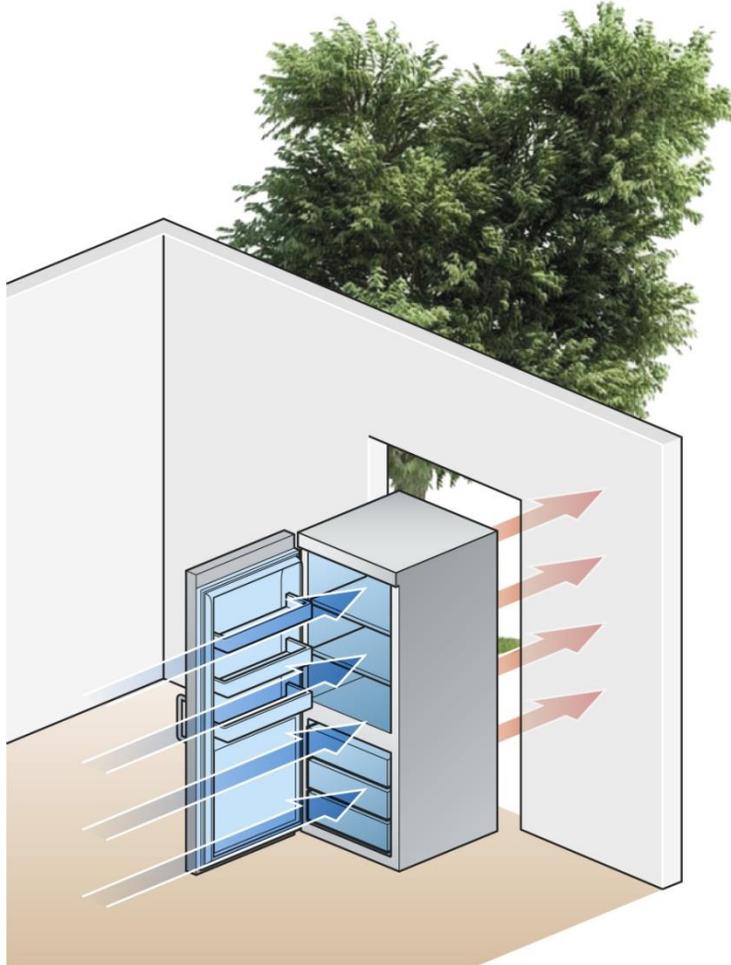
CONTRO NATURA.....

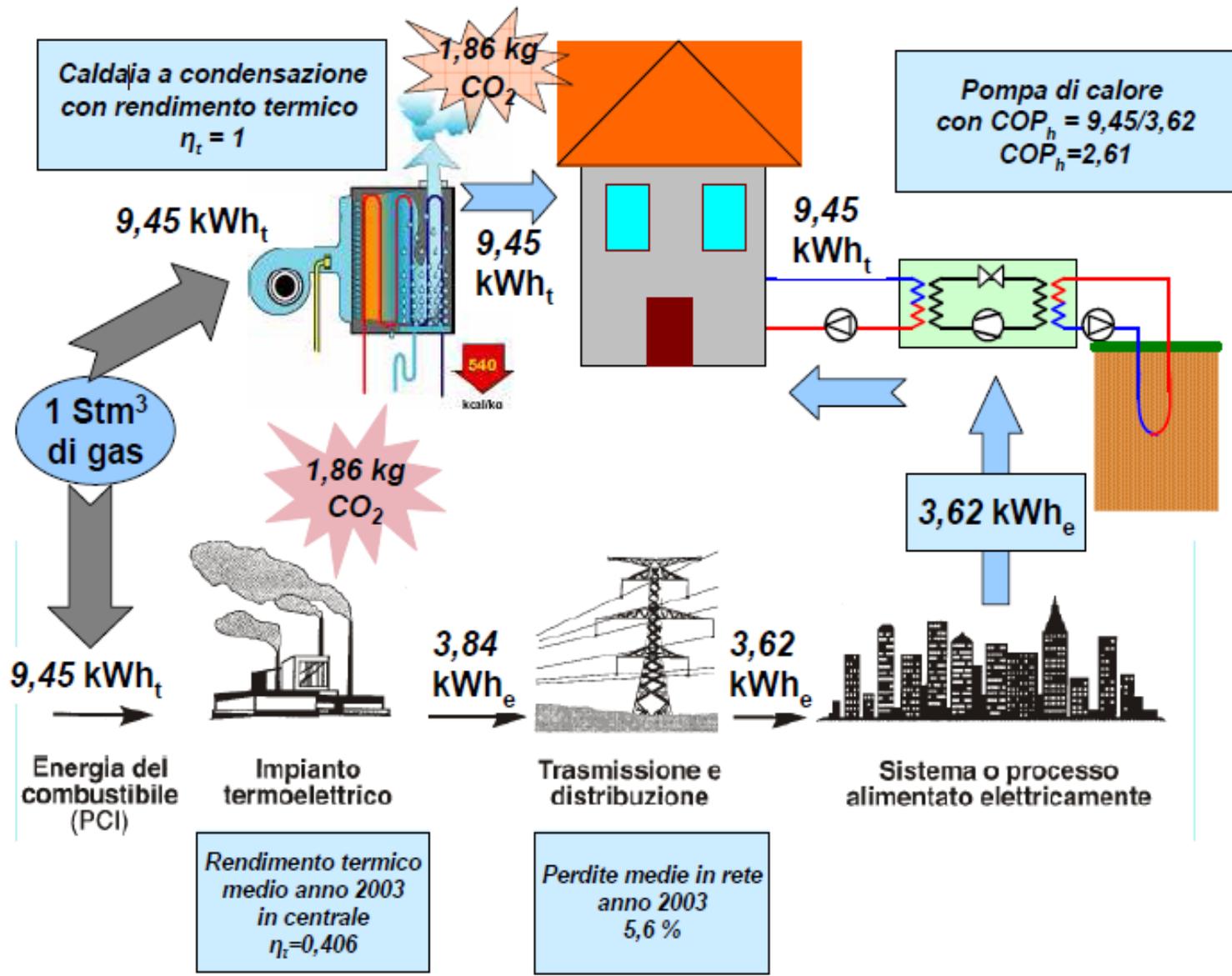
Analogia Termodinamica / Idraulica nel funzionamento di una Pompa di Calore:

- Il° Principio della Termodinamica: è consentito il trasferimento di una quantità di calore da un corpo “freddo” ad uno “caldo” solo mediante impiego di lavoro meccanico
- In Idraulica: il trasferimento di una quantità d’acqua da un bacino inferiore ad uno superiore può avvenire solo mediante utilizzo di una pompa, quindi con dispendio di energia meccanica



Un esempio sotto i nostri occhi : IL FRIGORIFERO DI CASA NOSTRA





POMPA DI CALORE

→ scelta (*tipo di refrigerante → condizioni di temperatura e pressione ottimali x il ciclo termico*) in funzione delle caratteristiche delle condizioni climatiche, dell'involucro edilizio, del tipo di impianto e di sorgente termica.

$$COP = \frac{\text{energia (termica) PRODOTTA all'ambiente}}{\text{energia (elettrica) consumata}}$$

COEFFICIENT OF PERFORMANCE

(RISCALDAMENTO)

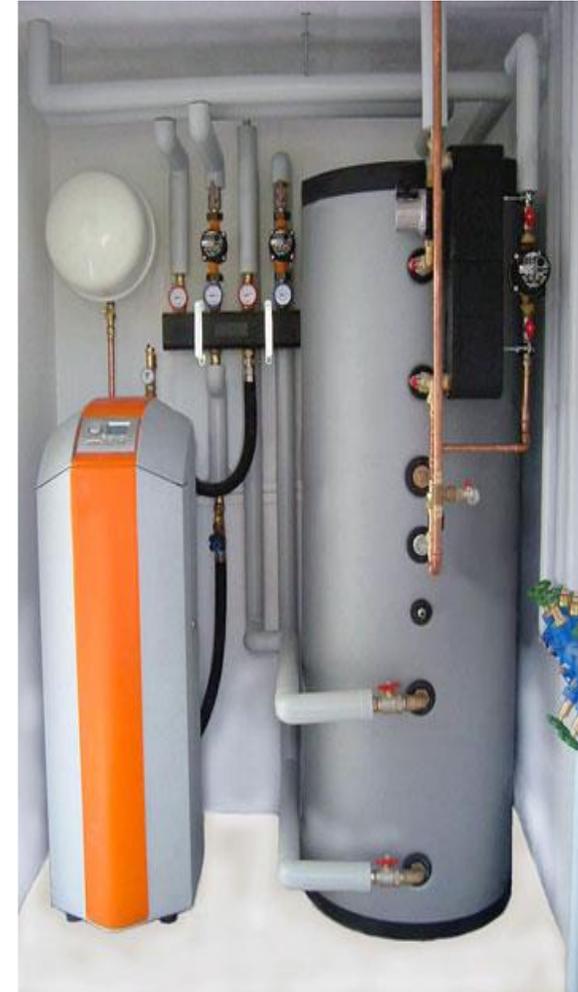
di solito:

- 3.0 per pompe di calore aria-acqua,
- 4.0 per pompe di calore a sonda geotermica,
- 4.5 per pompe di calore acqua-acqua.

$$EER = \frac{\text{energia (termica) DI RAFFREDDAMENTO}}{\text{energia (elettrica) consumata}}$$

ENERGY EFFICIENCY RATIO

misura l'efficienza di raffreddamento di una pompa di calore



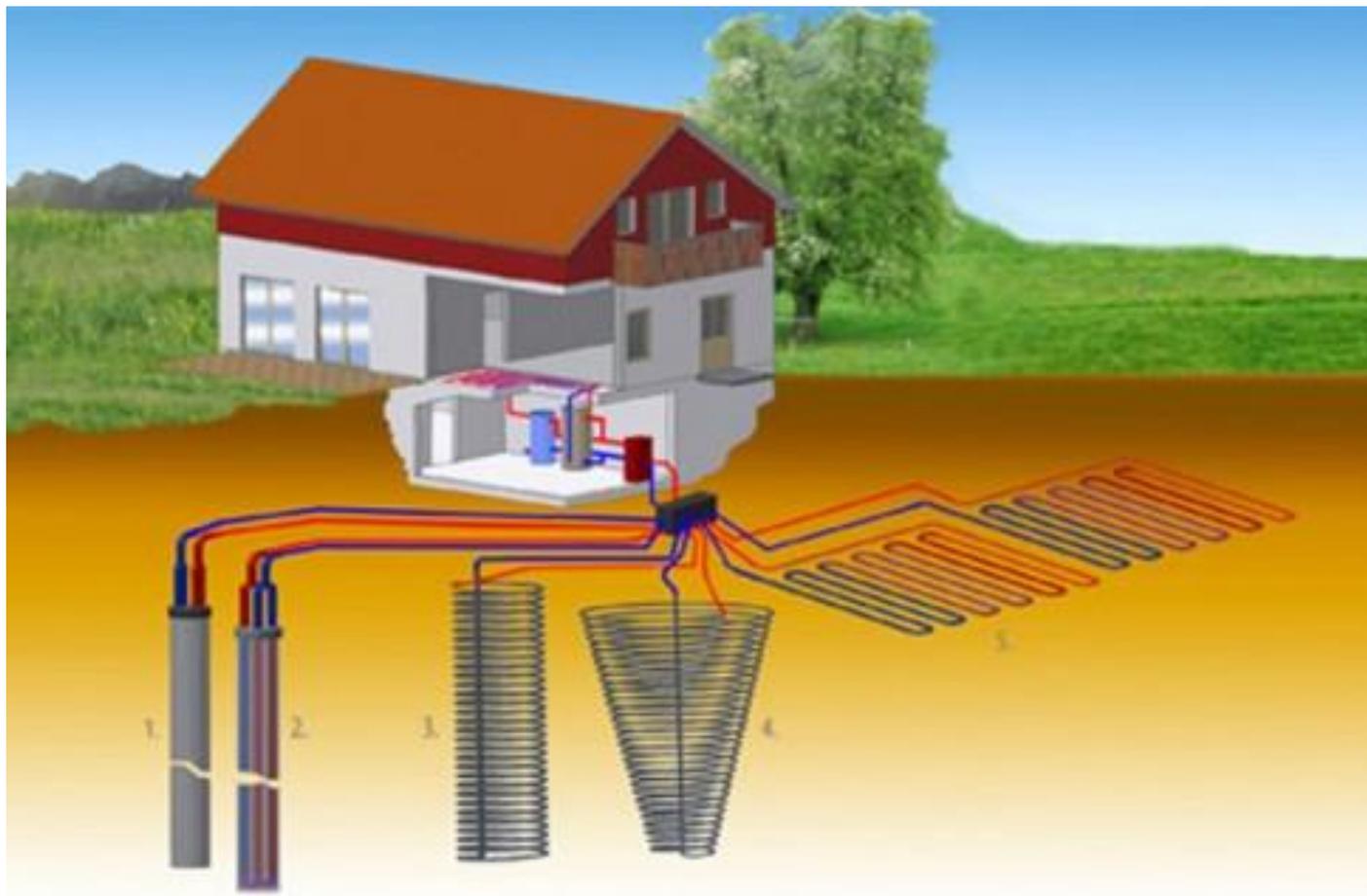
L'impianto di distribuzione all'interno dell'edificio



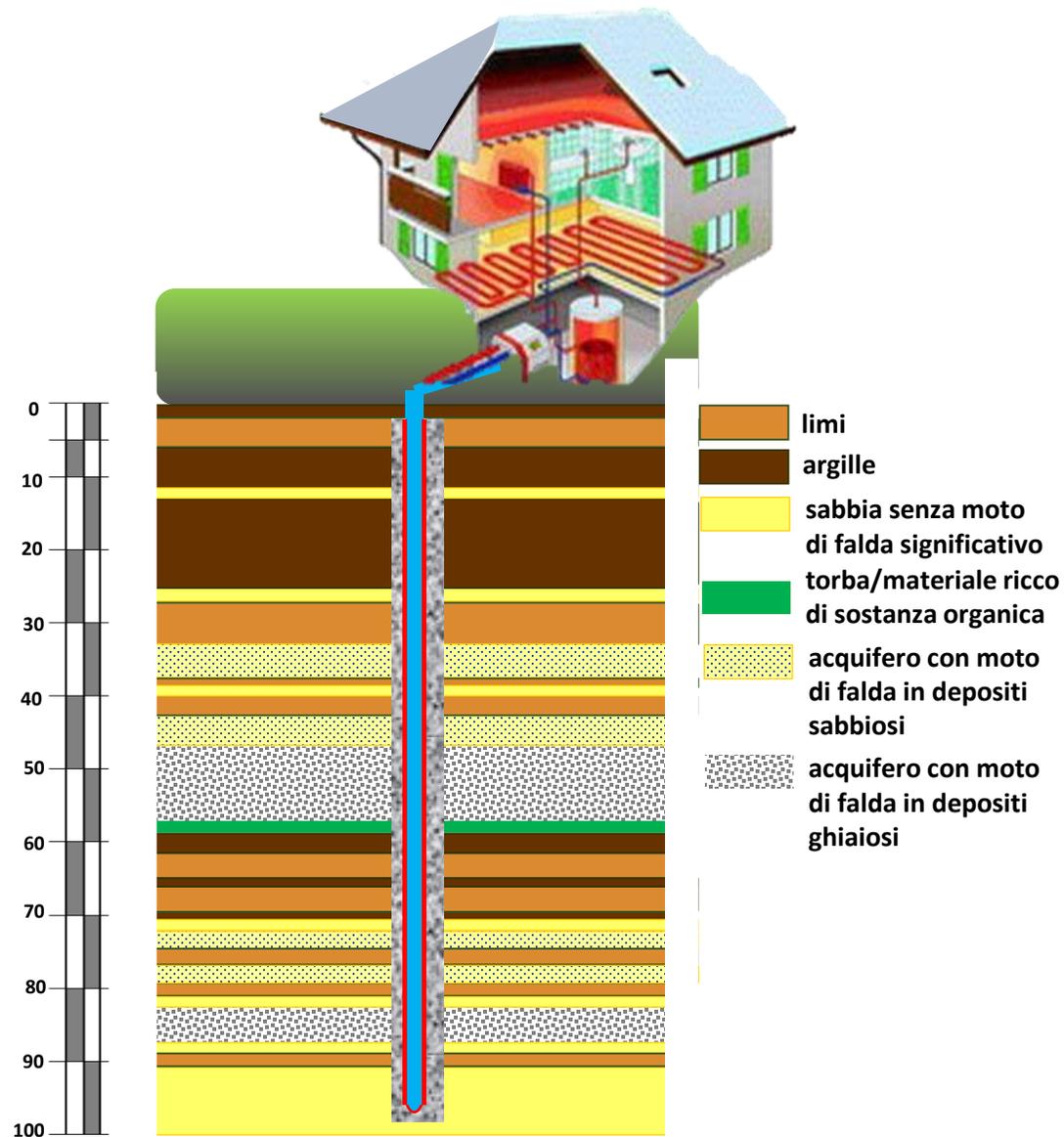
TIPI DI SCAMBIATORI A TERRENO

a) sistemi a circuito chiuso (solo scambio di calore e non di materia)

- ✓ sonde geotermiche verticali,
- ✓ scambiatori orizzontali,
- ✓ pali energetici,
- ✓ geostrutture



TIPOLOGIE DI SCAMBIO TERMICO NEL TERRENO



dal punto di vista termodinamico la situazione e' in condizioni 'estremamente' non stazionarie:

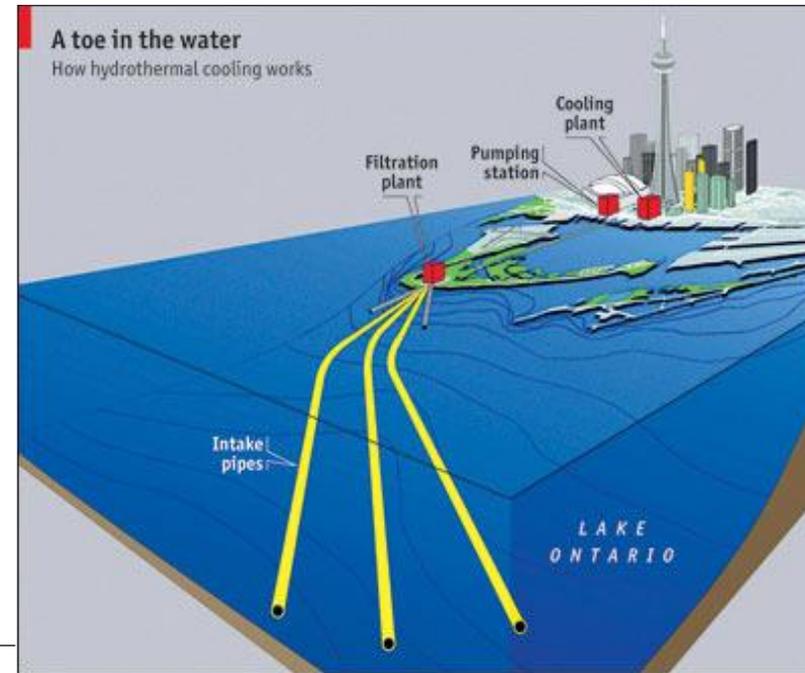
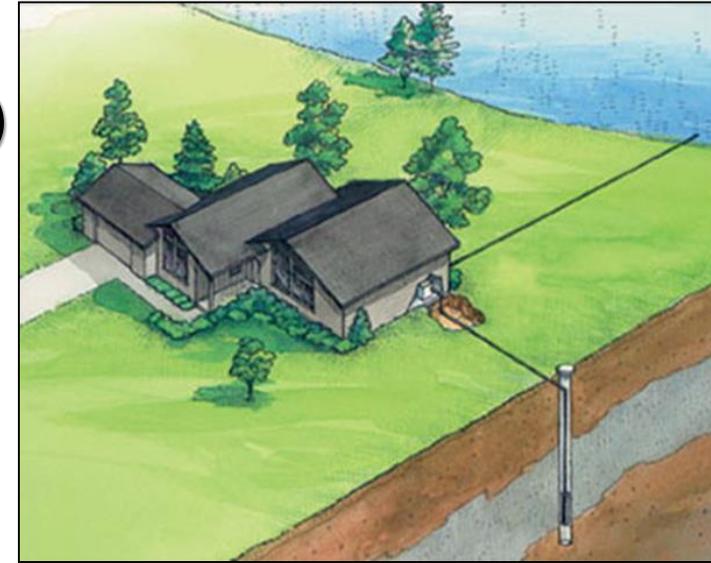
- continui cambiamenti delle richieste termiche dell'edificio
 - gestione dinamica della PDC
 - continue variazioni della temperatura del terreno → dello scambio termico a terreno
- ↓
- necessaria collaborazione tra competenze diverse (ing. energetico per stabilire richieste termiche edificio + gestione PDC)
 - necessario utilizzo di software dedicati per la progettazione

TIPI DI SCAMBIATORI A TERRENO

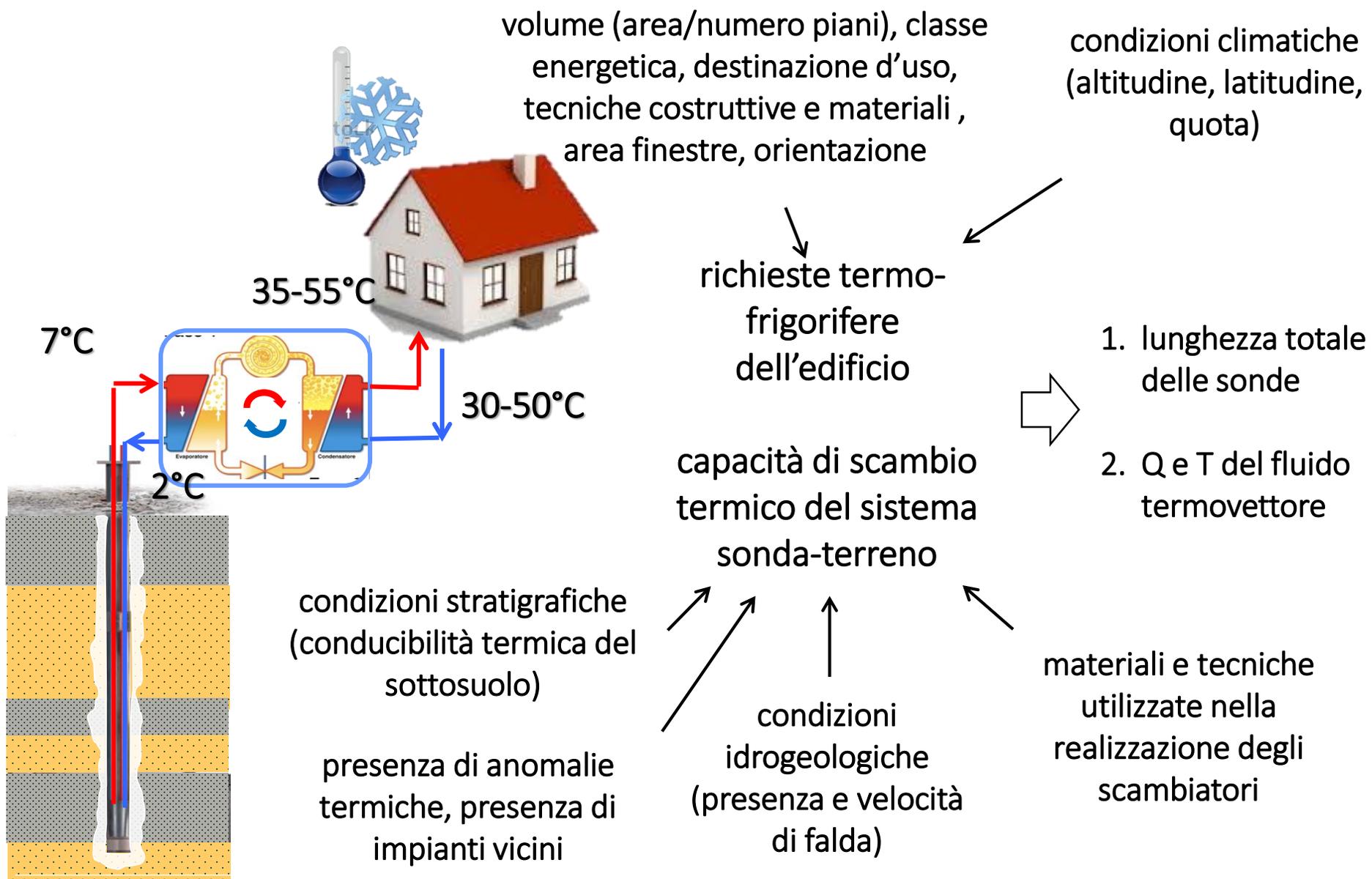
b) sistemi a circuito aperto

(scambio di calore attraverso lo scambio di materia)

- ✓ attraverso due o più pozzi che pescano e reimmettono acqua in acquifero / in corpo idrico superficiale
→ scambio termico con acqua
- ✓ condotte apposite per lo sfruttamento termico delle fognature (usa temperature convenienti delle acque reflue)

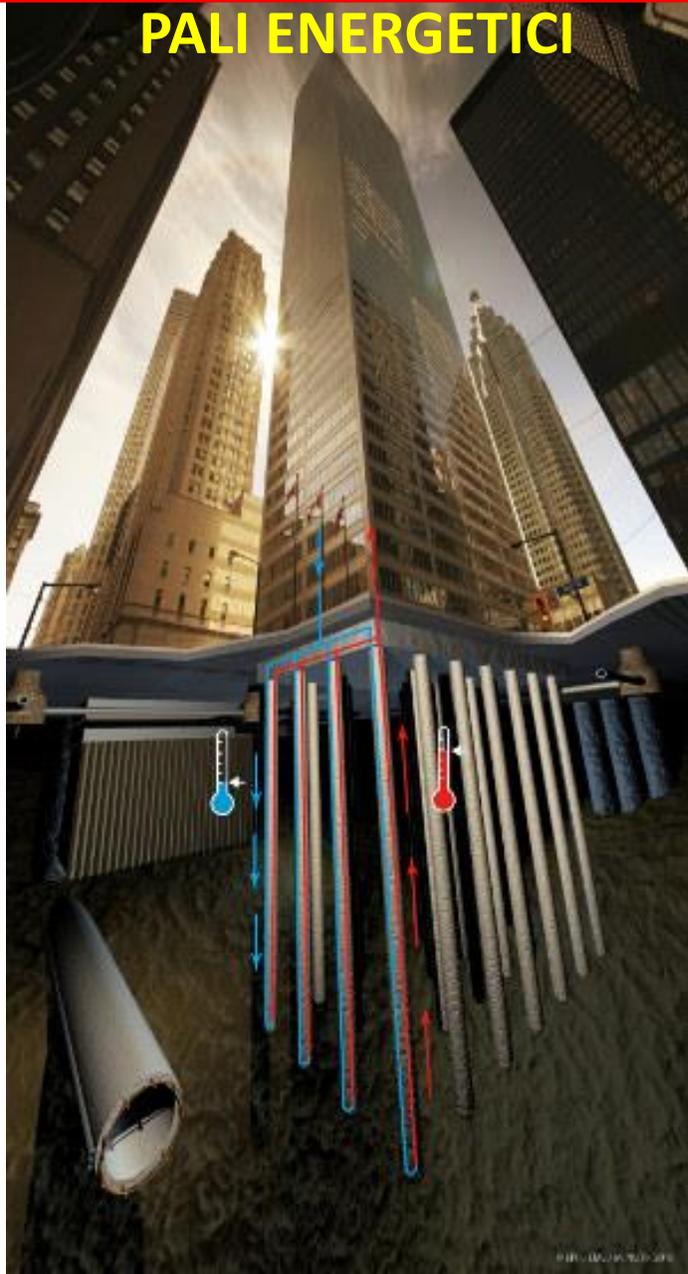


Geotermia a bassa entalpia/ gli elementi base



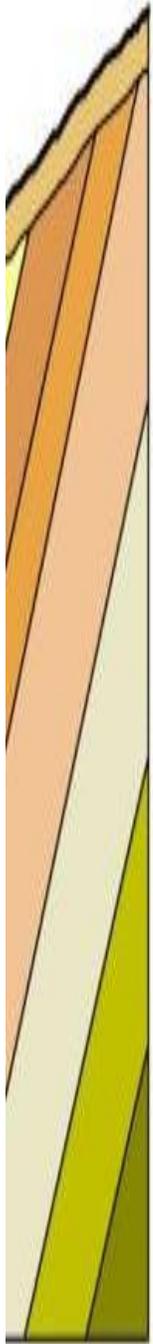
BASSA ENTALPIA «non convenzionale»

PALI ENERGETICI



SISTEMI GEOTERMICI A CIRCUITO CHIUSO

- ✓ costi piuttosto elevati
- ✓ necessità di spazi adeguati
- ✓ efficienza modulata dalle condizioni di utilizzo
- ✓ le risorse superficiali sono facilmente accertabili e ubiquitarie
- ✓ assenza del rischio minerario
- ✓ assenza di rischio di subsidenza
- ✓ chimismo acque sotterranee in genere non problematico
- ✓ procedure autorizzative semplici

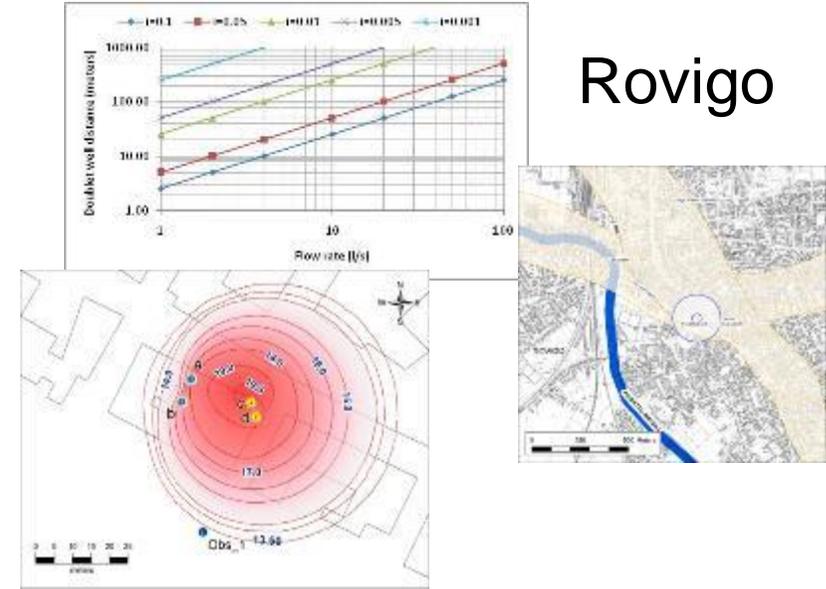


SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO IN AREA URBANA

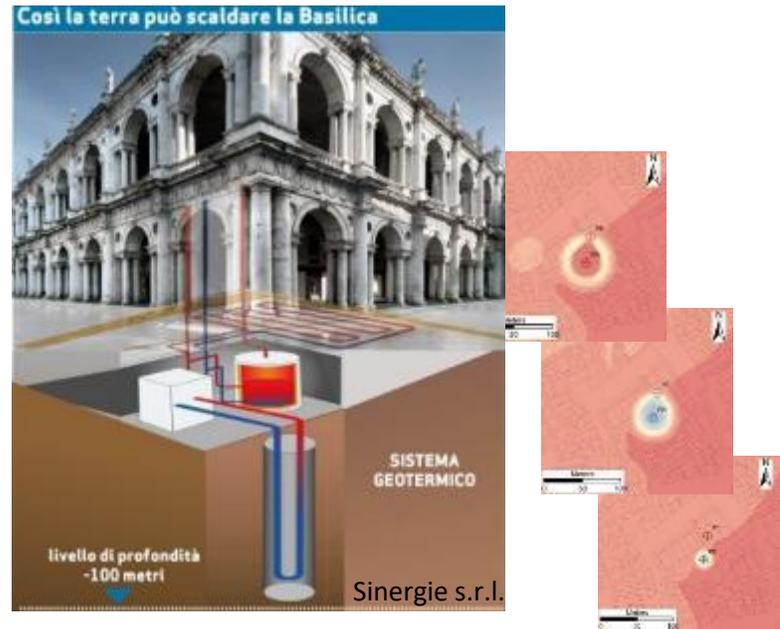
Venezia



Rovigo



Vicenza



Treviso



Acqua di galleria

Effetto di drenaggio di un massiccio roccioso

Riscaldamento di edifici tramite una pompa di calore

Temperatura fino a 30 °C



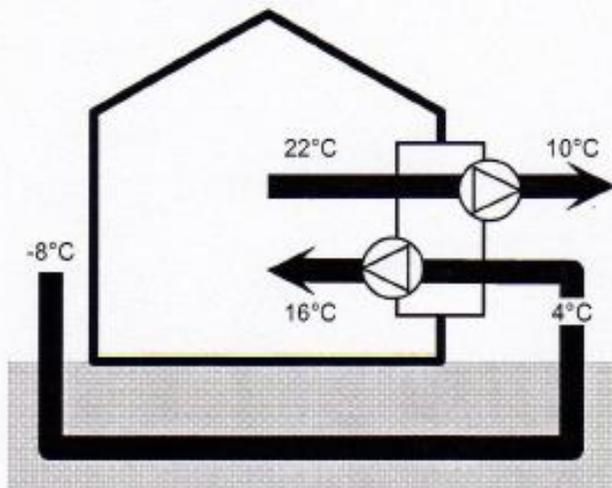
Istallazione in Ticino: Mappo-Morettina, San Gottardo, ecc.

Potenziale importante con Alptransit

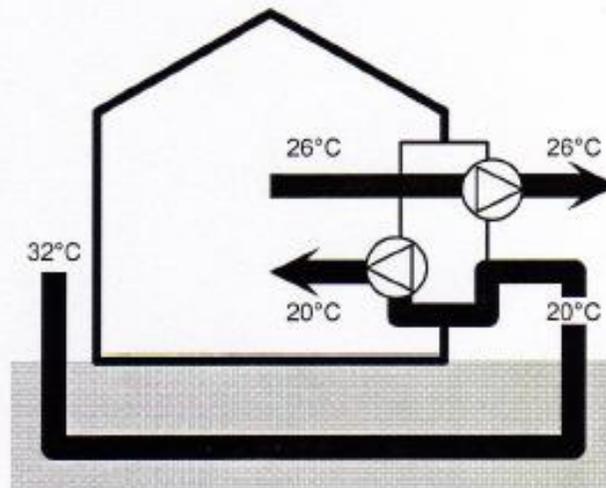
SCAMBIATORI ARIA-TERRENO



Ventilation avec puit canadien et récupérateur sur air vici

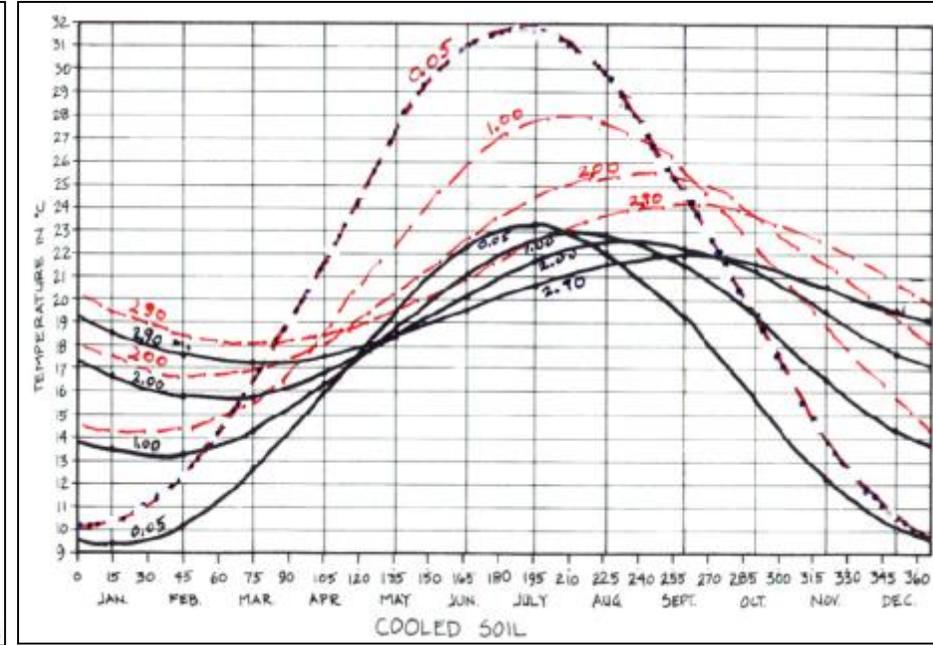
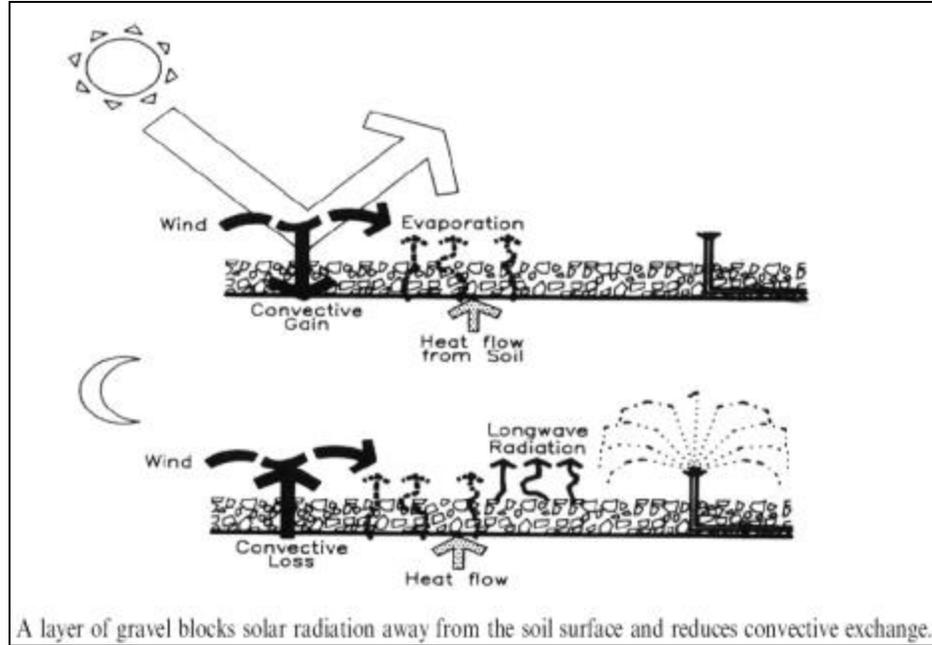


Inverno: preriscaldamento aria ventilazione



Estate: raffrescamento

GEOSCAMBIO IN ZONE ARIDE





POSSIBILI SORGENTI FREDDI PER POMPE DI CALORE ACQUA-ACQUA

- CORSI D'ACQUA SUPERFICIALI (FIUMI , ROGGE, ETC.)
- LAGHI E BACINI IDRICI
- ACQUA DI MARE
- **ACQUE GEOTERMICHE**

- **ACQUA DI ALIMENTAZIONE DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE DI ACQUA POTABILE COMUNALE**
- ACQUA IN USCITA DA IMPIANTI DI DEPURAZIONE
- ACQUE LURIDE DA SISTEMI FOGNARI CITTADINI

- ACQUA DI CIRCUITO LAVAGGIO FUMI DI FORNI INCENERITORI
- ACQUA DI CIRCUITI DI TORRE DI RAFFREDDAMENTO
- ACQUA DI CIRCUITI DI RAFFREDDAMENTO DI CENTRALI ELETTRICHE (COGENERATIVE E NON)

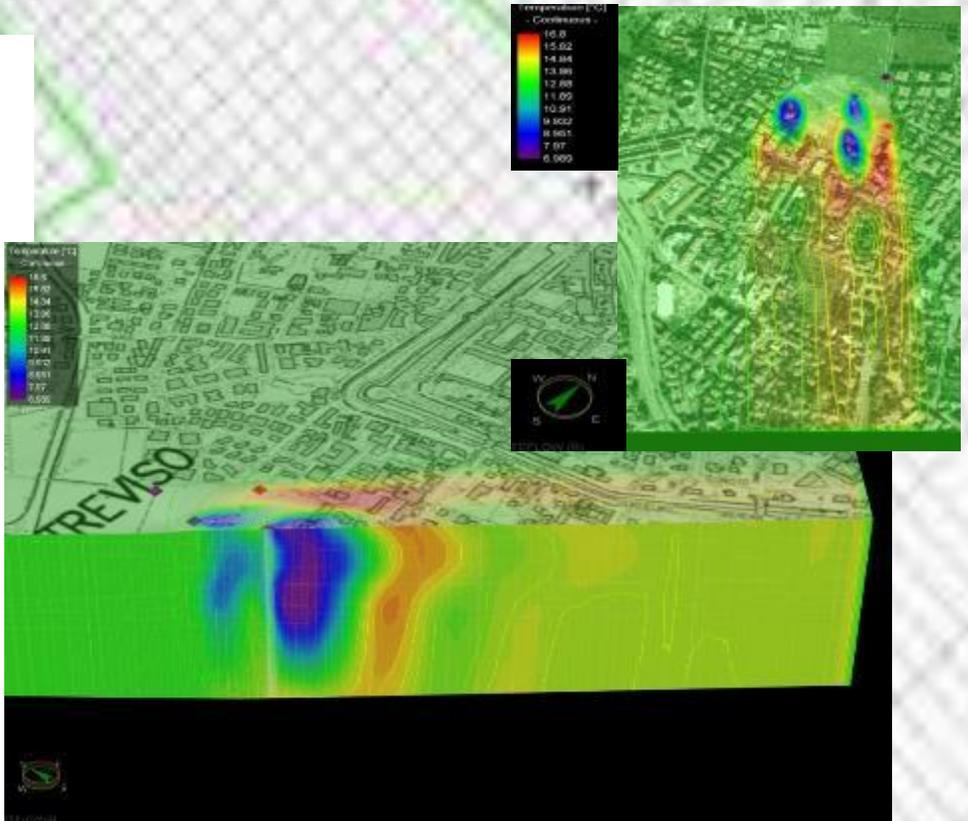
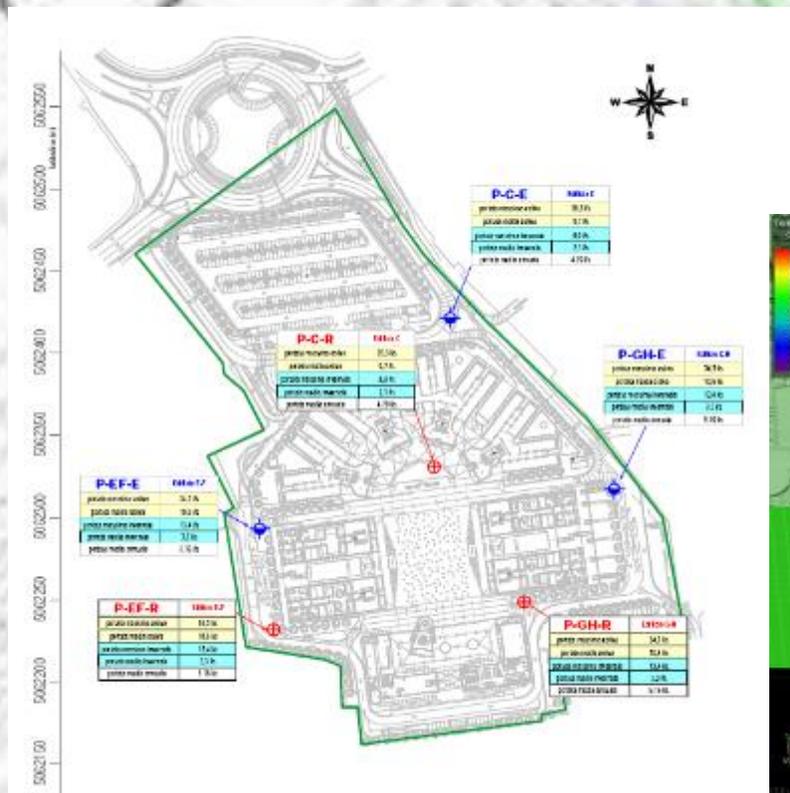
Esempi applicativi



Modello termico ed idrodinamico

Impianto geotermico con acqua di falda

Centro direzionale – commerciale APPIANI (Treviso)



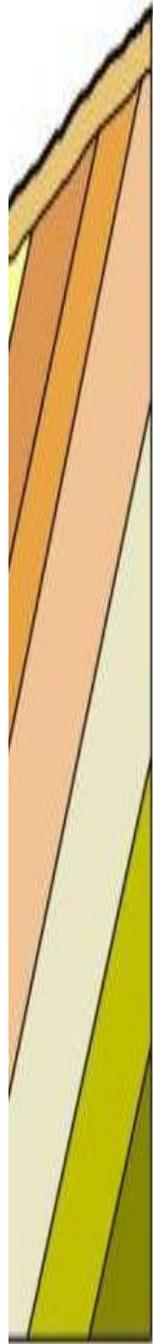
IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO “PALAZZO LOMBARDIA” DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA



IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO “PALAZZO LOMBARDIA” DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA

Pozzi di prelievo	8
Profondità pozzi	50 m
Portata acqua di falda	8 x 40 l/s = 320 l/s
Temperatura acqua di falda ingresso / uscita	15 / 6 °C
Scarico acqua di falda	in roggia superficiale
Numero pompe di calore	3
Tipologia pompe di calore	con compressore a vite
Potenza termica pompe di calore ceduta a sorgente calda	3 x 2.150 kW
Copertura del fabbisogno termico invernale del complesso con pompe di calore	100%
Funzionamento estivo delle pompe di calore come ciclo frigorifero per produzione acqua gelida	

SISTEMI GEOTERMICI A CIRCUITO APERTO



- ✓ GENERALMENTE ELEVATA EFFICIENZA ENERGETICA, BASSO RISCHIO MINERARIO
- ✓ COSTI LIMITATI PER IMPIANTI DI CARATURA SIGNIFICATIVA
- ✓ PRESENZA (PROFONDITÀ, QUANTITÀ E QUALITÀ) **NON UBIQUITARIA**
- ✓ POSSIBILE SOTTRAZIONE DI SOLIDO CON INTASAMENTO IN RESTITUZIONE E PROBLEMI ALLE POMPE, SUBSIDENZA;
- ✓ POSSIBILE CHIMISMO PROBLEMatico PER CIRCUITO IDRAULICO E FILTRI
- ✓ POSSIBILE IMPATTO IDRODINAMICO CON POZZI LIMITROFI, SPECIE A FRONTE DI PRELIEVI E SCARICHI DI RILEVANTE ENTITÀ O IN NUMERO ELEVATO
- ✓ IN CONTESTI IDROGEOLOGICI PARTICOLARI **DIFFICOLTÀ DI RESTITUZIONE** NEL CORPO IDRICO ORIGINARIO
- ✓ ALTERAZIONI NELLA DINAMICA DELLE FALDE, SPECIE A FRONTE DI PRELIEVI E SCARICHI DI RILEVANTE ENTITÀ O IN NUMERO ELEVATO.

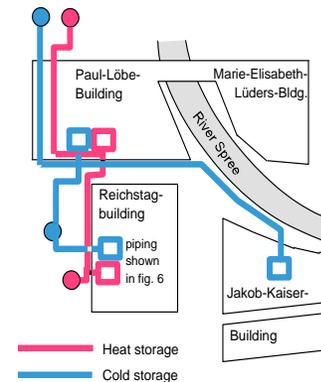
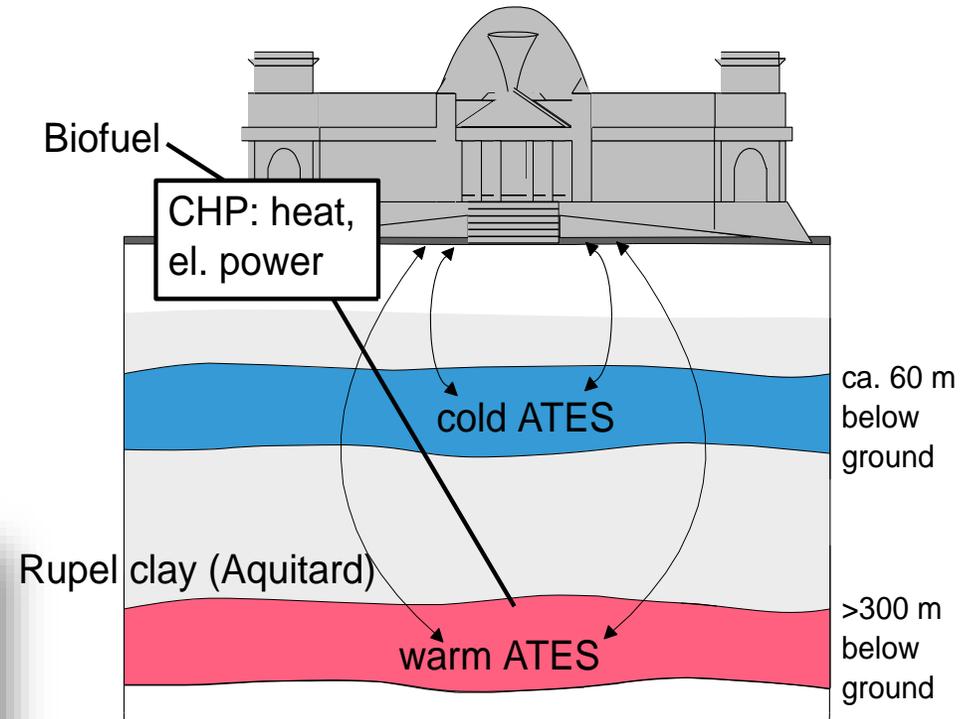
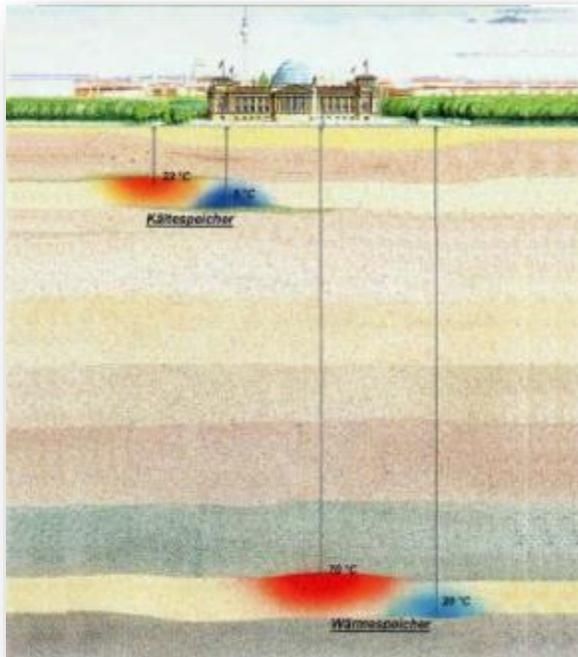
SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO DA 73 MWt E TELERAFFREDDAMENTO DA 23 MWf

A SERVIZIO DEL QUARTIERE DI BOULOGNE-BILLANCOURT



SISTEMA GEOTERMICO AD ACCUMULO TERMICO (ATES)

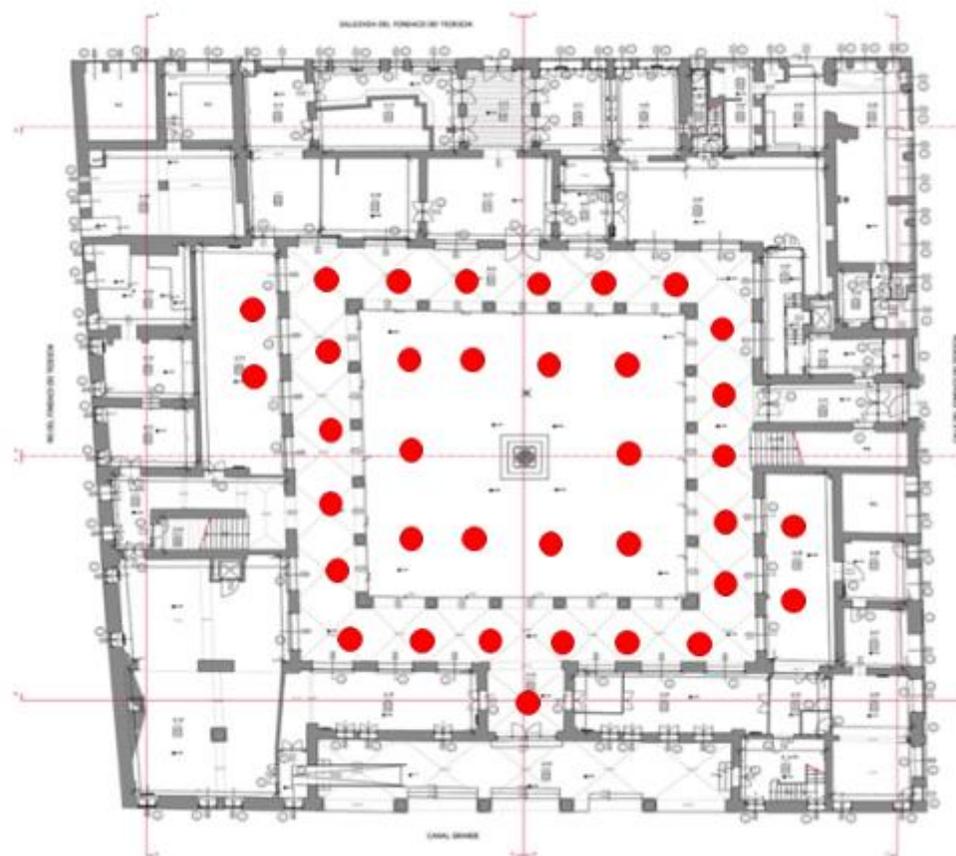
PARLAMENTO TEDESCO - BERLINO



esempio – fondaco dei tedeschi a Venezia (BHE)

potenza riscaldamento: 364,8 KW
potenza raffreddamento: 298,2 KW

46 sonde
doppia U
100m



esempio – fondaco dei tedeschi a Venezia



esempio – fondaco dei tedeschi a Venezia

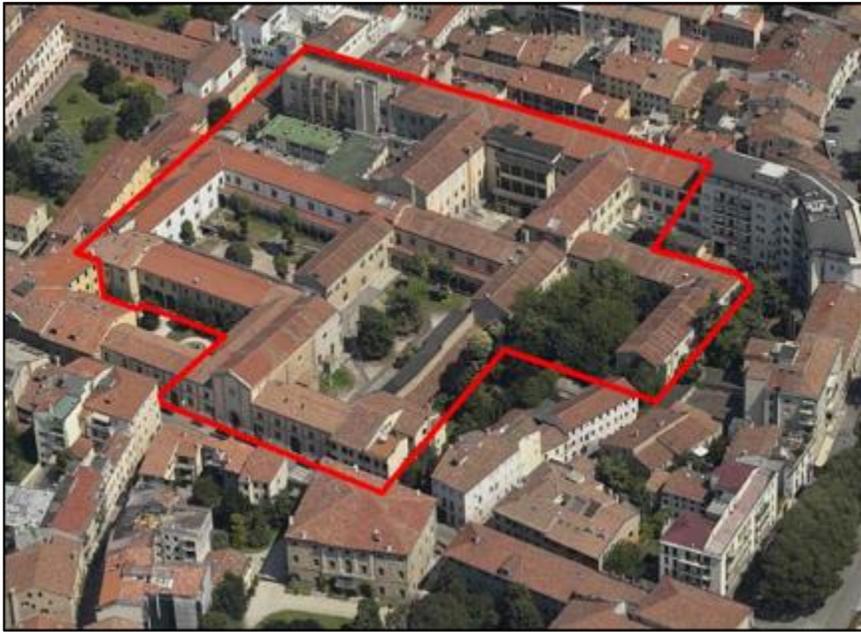


esempio – fondaco dei tedeschi a Venezia

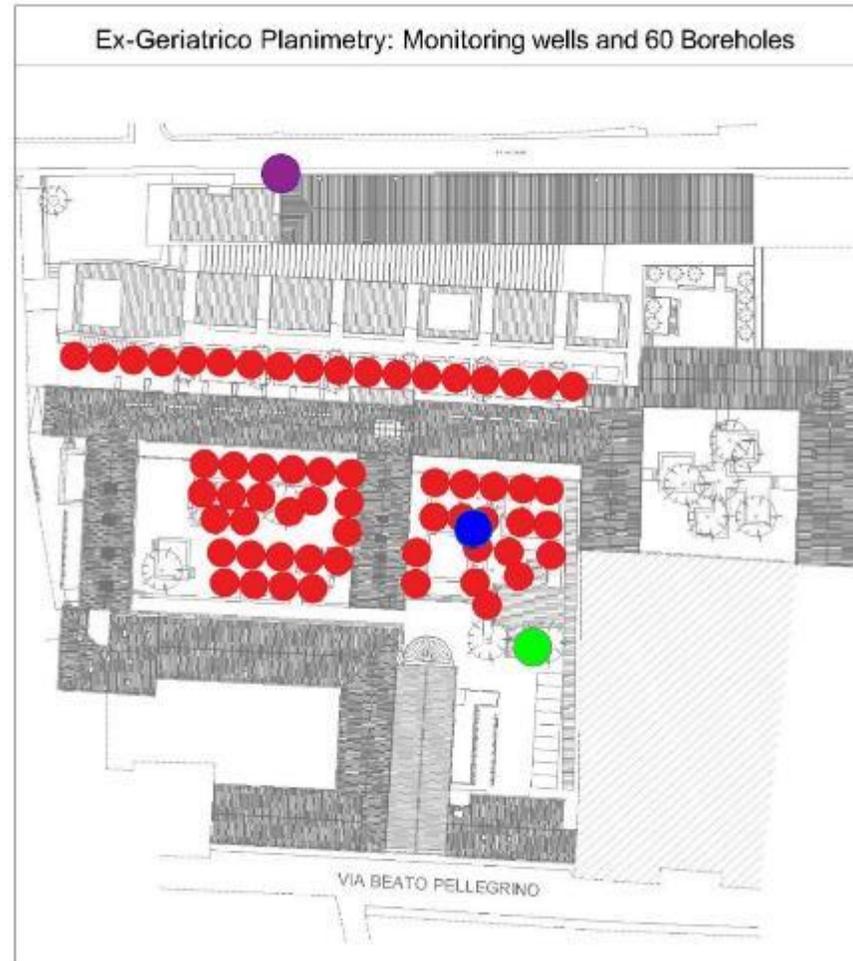


esempio monitoraggio temperature sottosuolo

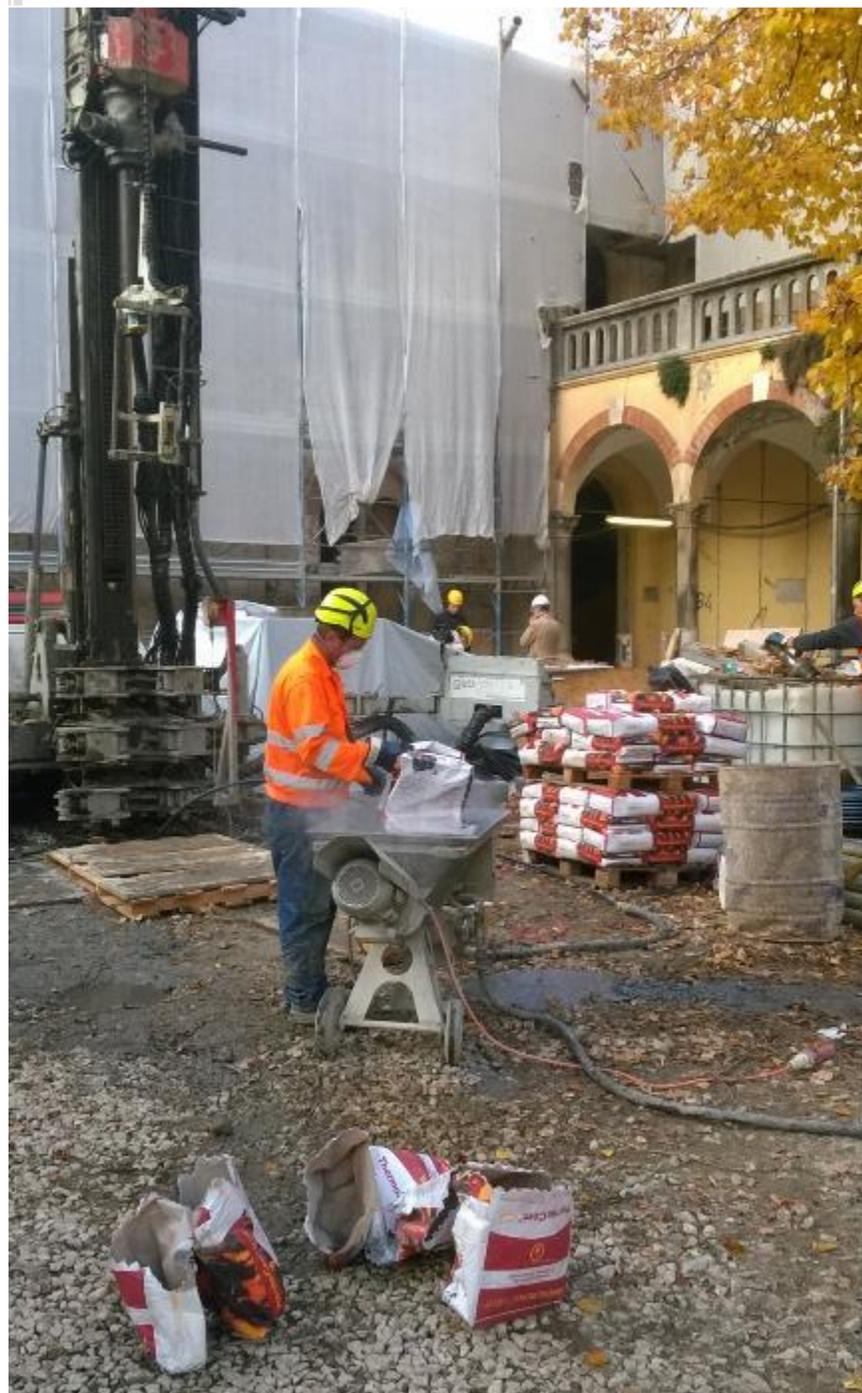
Nuovo polo umanistico Università di Padova



- impianto geotermico 60 sonde 120m
- 2 PdC reversibili(192.6 / 168.4 kWt)
- impianti ausiliari
- impianto di riscaldamento/raffrescamento a pannelli radianti (60 W/m²)



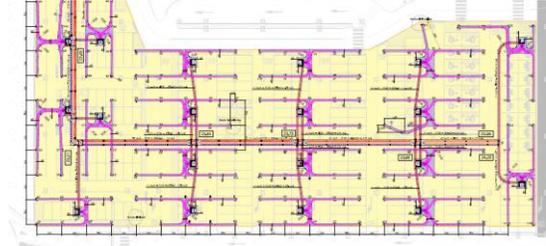
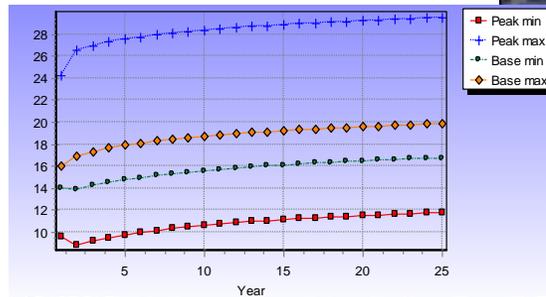
TICALI (BHE)



Ikea store - Rimini



- Campo di geoscambio costituito da 183 sonde verticali di 125 m di lunghezza.



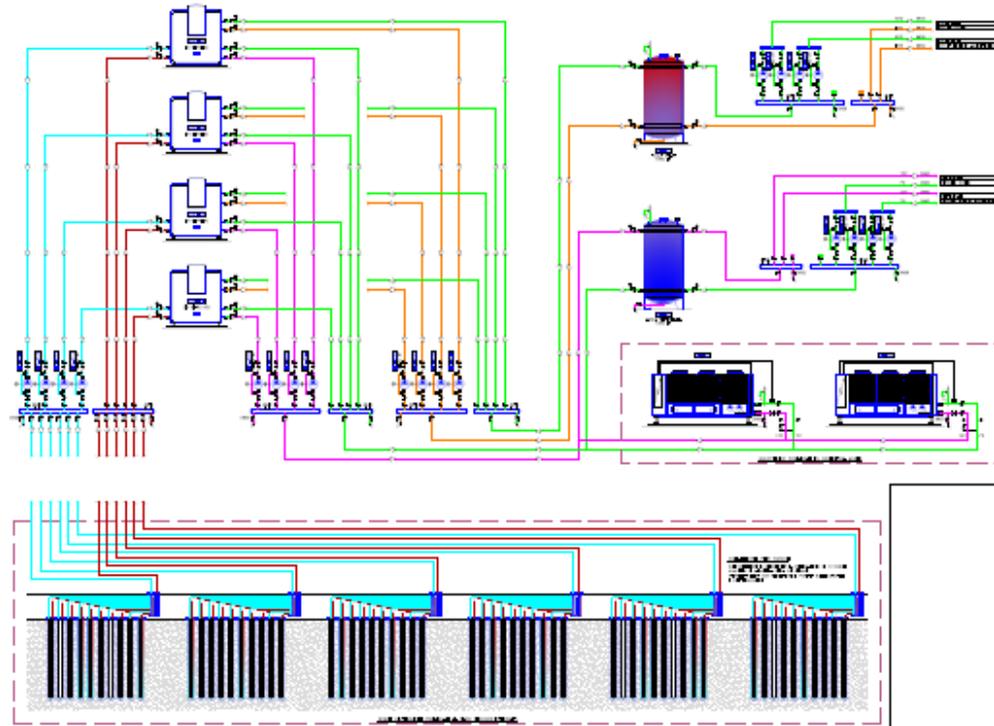
Installazione di una sonda geotermica RAUKZO



Eneren s.r.l.

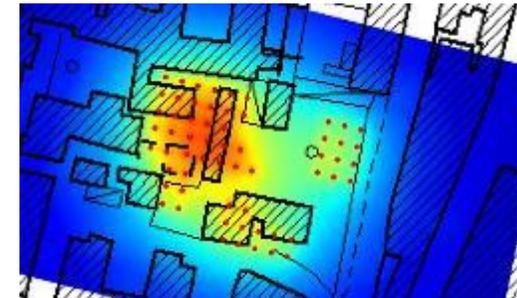
Museo del Novecento M9 (Mestre – VE)

60 sonde verticali 100 m
Potenza 500 kW
Accumulo termico di massa

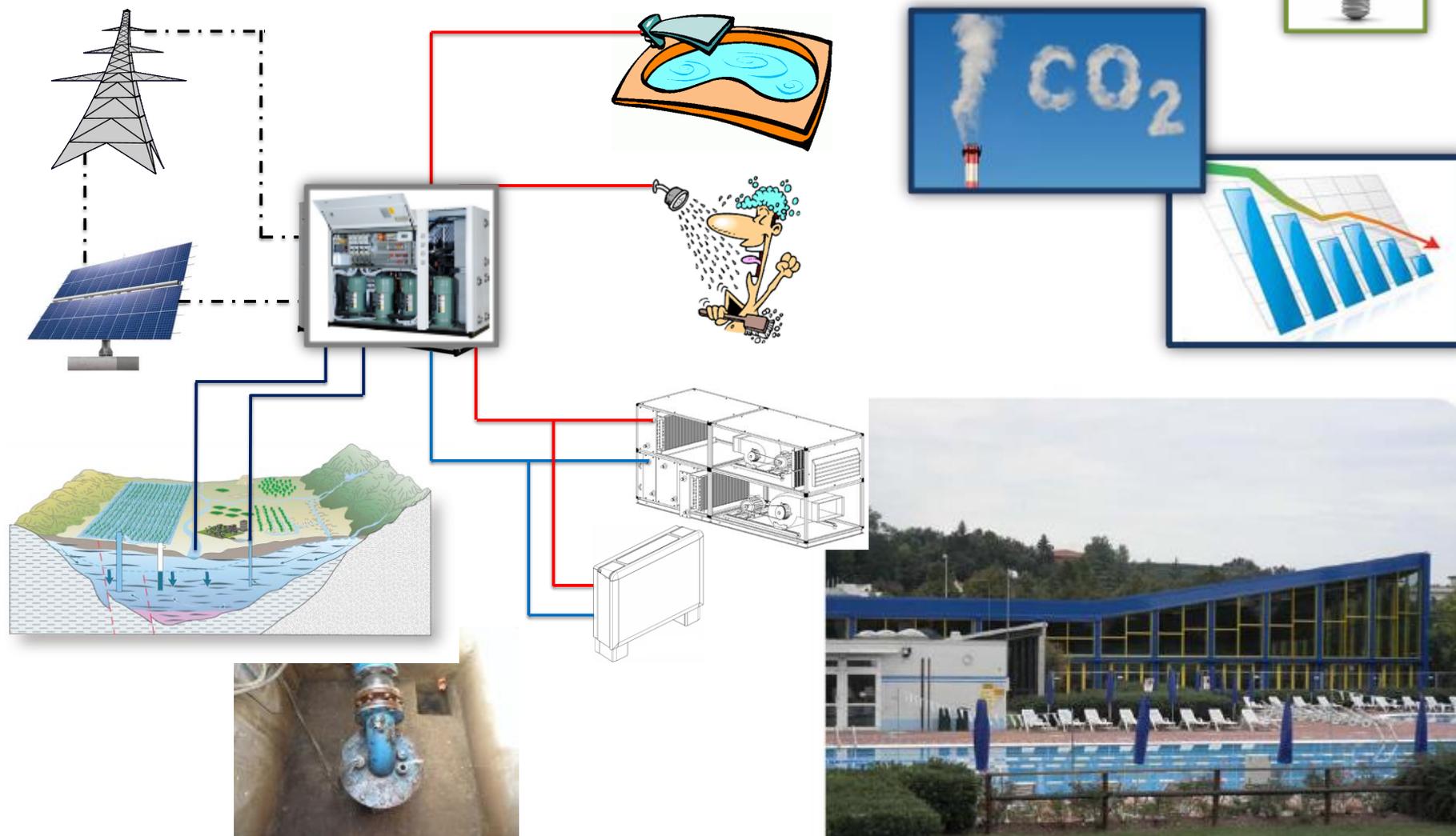


M9
Nuovo polo culturale e Museo del
Novecento di Venezia - Mestre

polymnia Venezia



Riqualificazione energetica impianti natatori (TV)



L'aria viene movimentata da ventilatori ad elevata efficienza che utilizzano motori elettrici sincroni a magneti permanenti e ad inverter: si tratta della stessa tecnologia, sofisticata ma efficiente, che viene impiegata nelle automobili ibride.

Scuole ed Asili

Es. Scuola Materna (PD) e Sala anziani-riunioni (PD)



Vantaggi:

- Scarsa manutenzione
- Nessun rischio di scoppio o incendio (riduzione tariffe assicurative)
- Riscaldamento a pavimento a bassa temperatura (alta efficienza-bassi costi esercizio-idoneità alla destinazione d'uso)
- Nessuna emissione locale di CO₂



Casa di Cura e Casa di Riposo (Monastier – TV)



Sistema geotermico ibrido
96 sonde, prof. 100 m
Potenza Impianto 1.2 MW



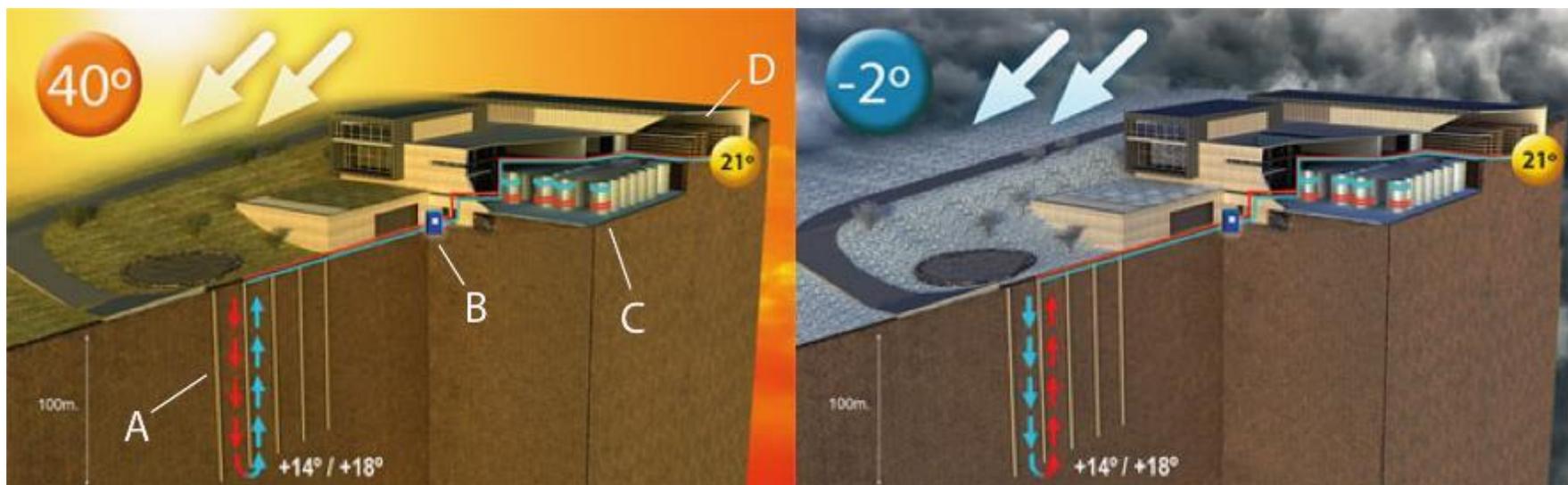
La Cantina Regalia de Ollauri (La Rioja, Spagna)



Oltre all'azzeramento delle emissioni di CO₂ e al risparmio in bolletta (fino all'80%), uno dei principali vantaggi dell'utilizzo della geotermia è quello legato al ritorno di immagine.



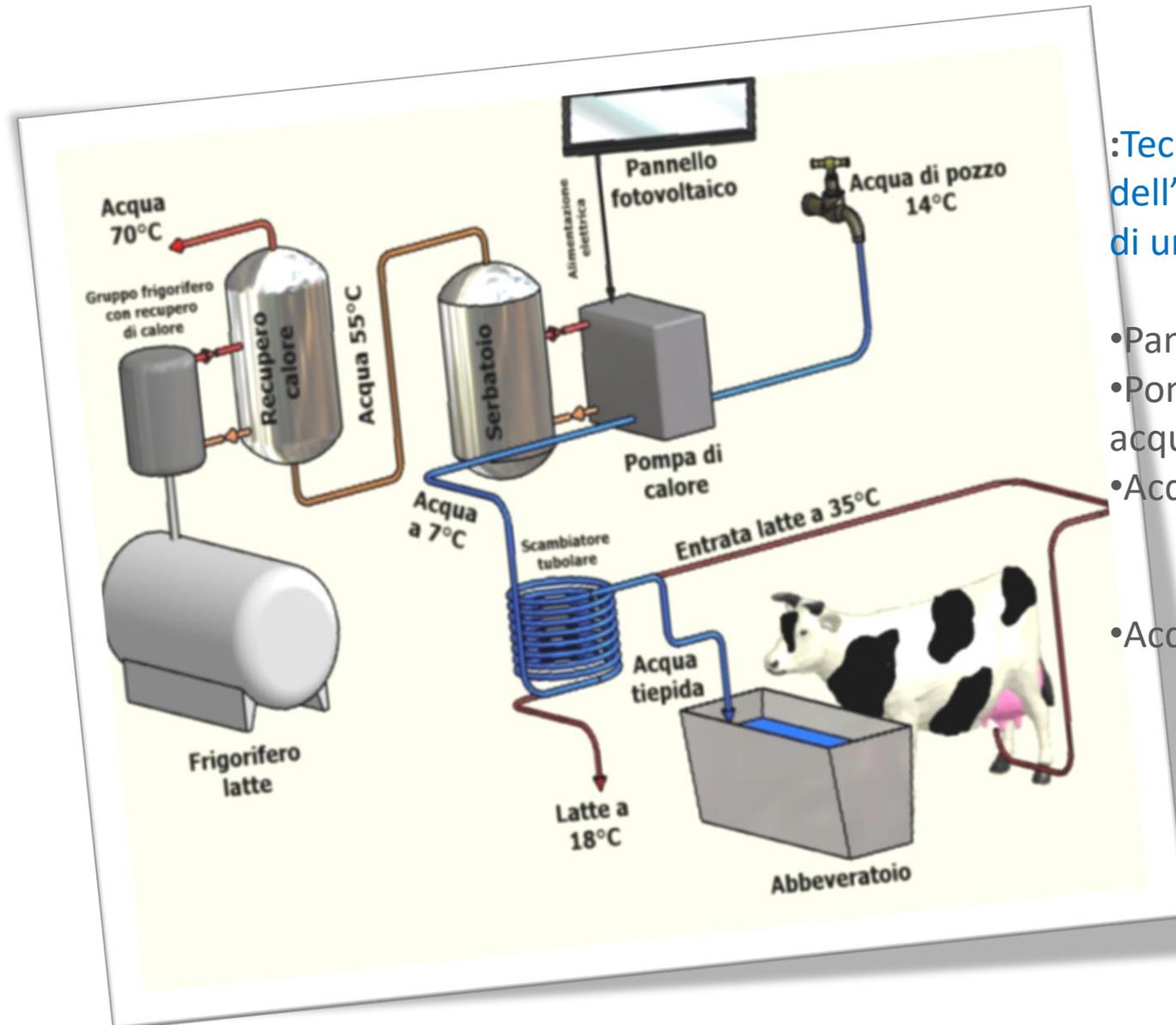
....la prima al mondo ad utilizzare l'energia geotermica per il processo enologico



Fonte D. Montanari, CNR IGG Progetto Vigor

Progetto mucca pezzata

Primo premio fiera "Vegetalia Agroenergie 2010"

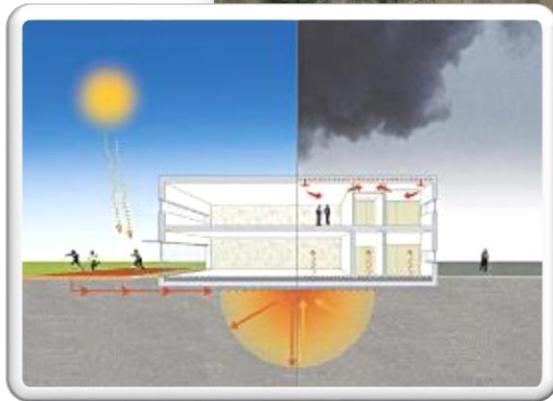


:Tecnologia a servizio dell'ottimizzazione dei consumi di un impianto di mungitura

- Pannelli fotovoltaici
- Pompa di calore geotermica ad acqua di falda
- Acqua calda per:
 - Utenze
 - Abbeveratoi
- Acqua fredda in recupero per:
 - raffreddamento latte

Sistema geotermico-elioassistito per la climatizzazione della sede del Parco Nazionale del Gargano

Monte Sant'Angelo (Foggia)



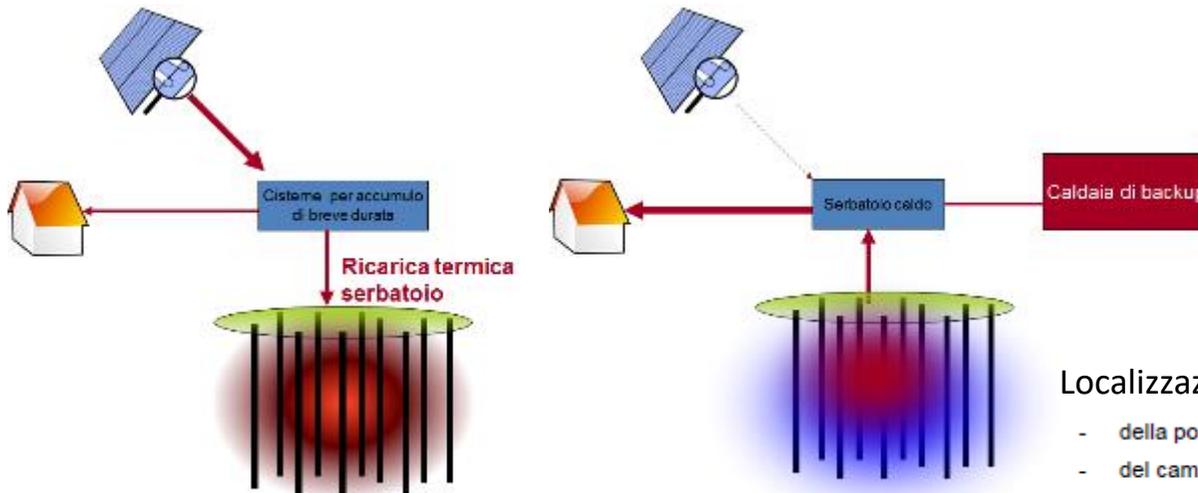
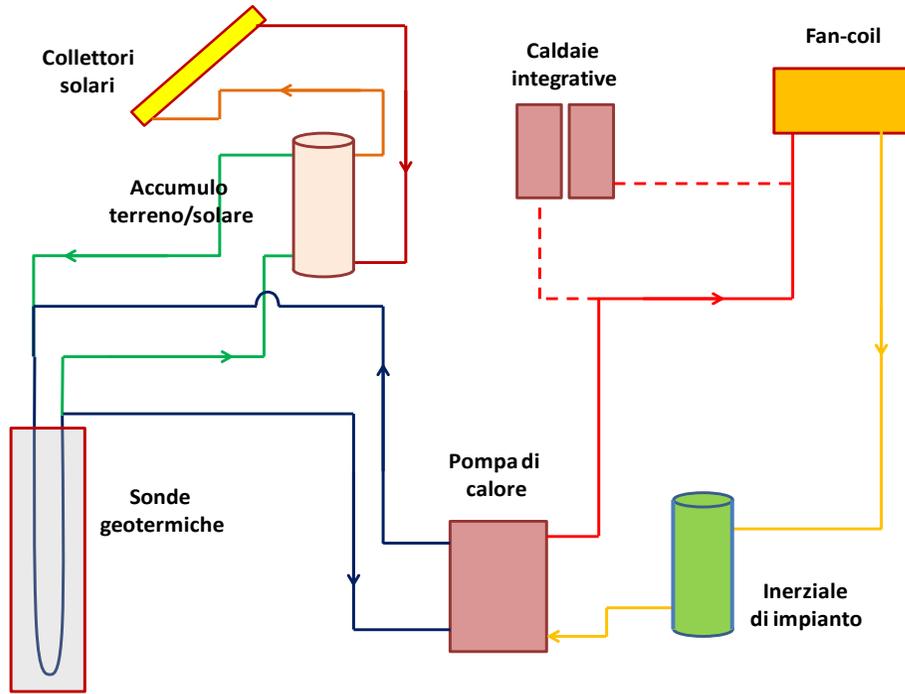
Antonio Galgano
Università di Padova
Dipartimento di Geoscienze
Email: antonio.galgano@unipd.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Geoscienze e Georisorse
Istituto Ricerca sulle Acque
Dipartimento Terra e Ambiente

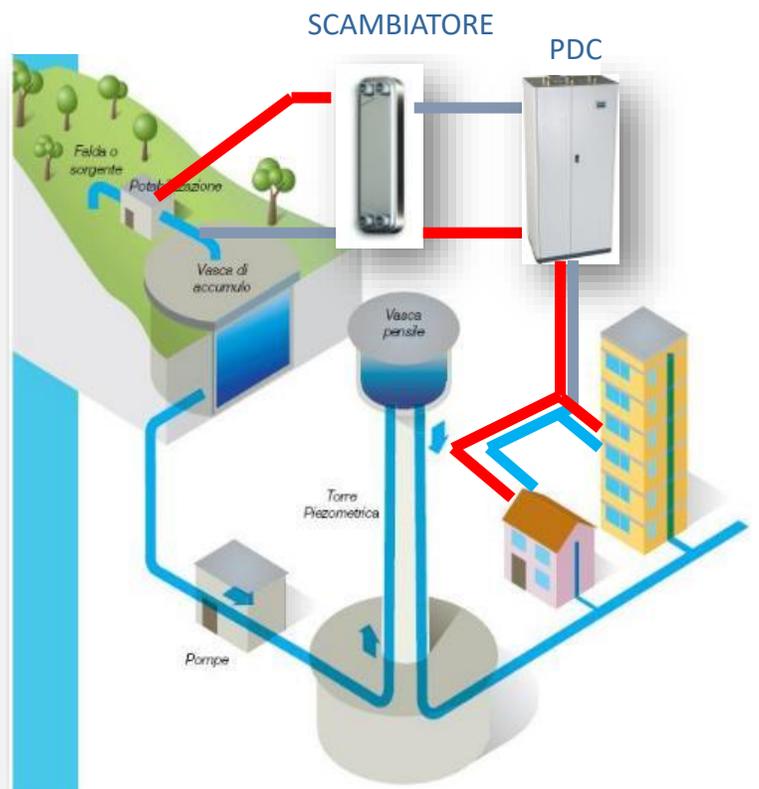


STATO DI PROGETTO



Localizzazione del sistema geotermico-solare

- della pompa di calore geotermica reversibile: potenza nominale 40 kW
- del campo di sonde geotermiche: n°9 sonde verticali di profondità 110 m
- del campo solare termico in copertura: superficie di apertura 54 mq
- della caldaia: caldaie esistenti di potenza termica complessiva 90 kW



Accumulatore di stratificazione

Pontos AquaCycle



Scambiatore di calore nel primo stadio del Pontos AquaCycle

hansgrohe



SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE IDROTERMICA CON USO DI ACQUE LAGUNARI NELLA CITTA' DI VENEZIA



SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE IDROTERMICA A VENEZIA

IDROTERMIA = sfruttamento delle acque superficiali (lagunari, lacustri, marine, fluviali) come sorgente termica per la climatizzazione degli edifici, accoppiati ad impianti a pompa di calore, in funzionamento sia estivo che invernale.

Esempi nazionali: Ancona (Mole Vanvitelliana), Genova (Acquario e Accademia Navale)

Esempi internazionali di impianti di grossa taglia a servizio di interi quartieri: Oslo (cittadella universitaria), Stoccolma, Helsinki, Zurigo, Parigi (quartiere ex Renault), Atene (aeroporto), Cina (Xinghai), Hong Kong





SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE IDROTERMICA CON USO DI ACQUE LAGUNARI NELLA CITTA' DI VENEZIA

Competenze Levi Cases in campo energetico:

- Analisi e progettazione sistemi energetici innovativi e rinnovabili
- Smart grid
- Politiche energetiche e di gestione
- Chimico-biologiche
- Ambientali, geotermiche ed idrauliche
- Legislativo-normative, statistiche



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE FONDAZIONE LEVI CASES

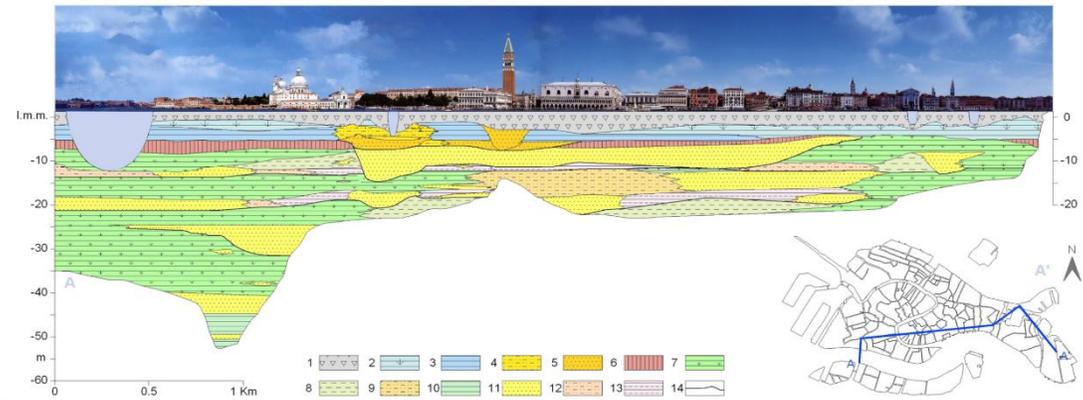


SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE IDROTERMICA A VENEZIA

Circa una ventina di impianti:

Parametri tipici di esercizio:

- $Q = 10 - 40 \text{ l/s}$
- $\Delta T = 3 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ (restituzione/prelievo)



VANTAGGI DELL'USO DELLE POMPE DI CALORE GEO-IDROTERMICHE A VENEZIA



- ✓ Centro urbano ad alta densità edificatoria
- ✓ inserito in ambiente ad elevato pregio ambientale/naturalistico, di inquinamento dell'aria
- ✓ Edifici di elevato valore storico artistico
- ✓ Tipologie di edifice molto energivore (grandi alberghi, spazi espositivi...)



→ Difficoltà di realizzazione di impianti tradizionali per:

- ✓ mancanza di spazio,
- ✓ restrizioni estetiche ed architettoniche legate alla tipologia di edifici
- ✓ livelli di emissioni acustiche limitati



- ✓ acqua di laguna: risorsa quasi ubiquitaria
 - ✓ risorsa termica rinnovata due volte al giorno con la marea
- + sfasamento e smorzamento dell'onda termica

VANTAGGI DELL'USO DELLE POMPE DI CALORE GEO-IDROTERMICHE A VENEZIA



- ✓ impianti a più alta efficienza energetica
 - abbassamento picchi assorbimento elettrico durante l'estate



- ✓ Permette di evitare l'utilizzo delle tradizionali unità di condizionamento
 - Supera le limitazioni legate alle restrizioni architettoniche / estetiche
 - basso impatto acustico

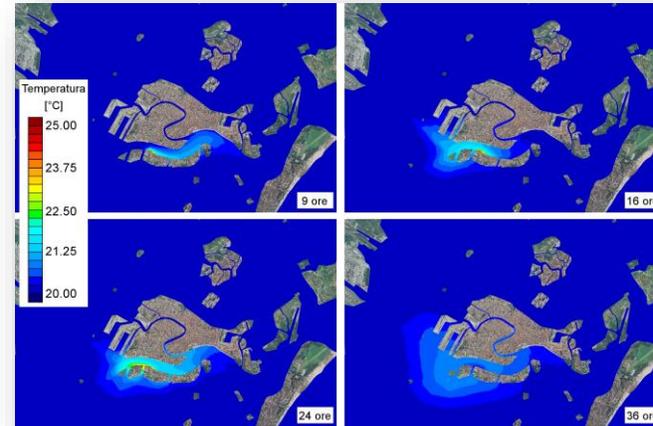
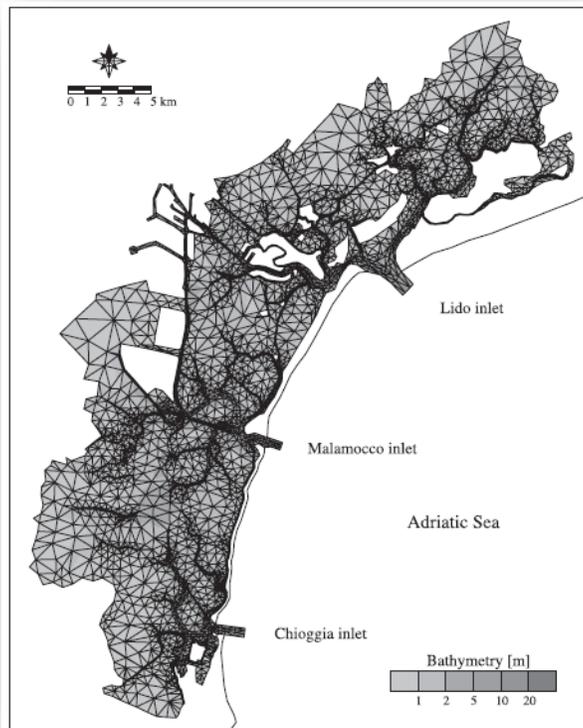


- ✓ Sostituisce le caldaie per il riscaldamento invernale
 - Evitare emissioni da combustione in atmosfera
 - miglioramento qualità aria
 - Riduzione del rischio incendi

PARTICOLARITA' DELLA SOLUZIONE IDROTERMICA IN LAGUNA DI VENEZIA

- corpo idrico semiconfinato,
- zone con diversi gradi di ricambio,
- corrente bidirezionale dovuto alla marea semidiurna
- acqua salmastra
- battente molto limitato
- canali ad elevato traffico acqueo

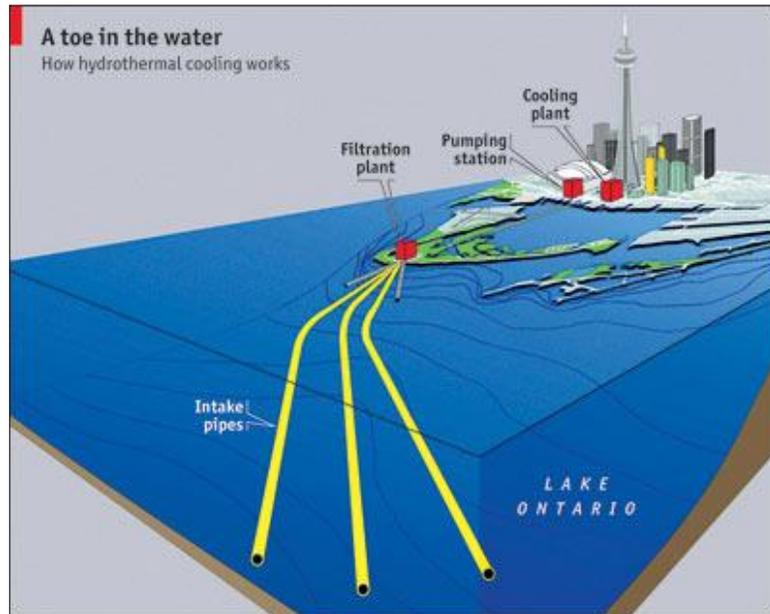
1. possibile interazione / corto-circuitazione termica tra impianti vicini (es. canal Grande)



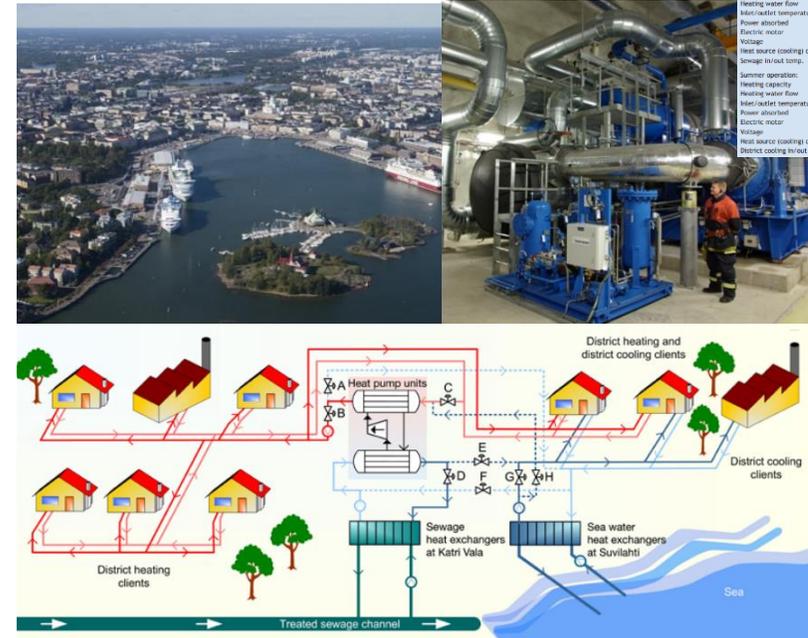
→ ACQUA DI SUPERFICIE come serbatoio con cui scambiare calore per la climatizzazione degli edifici

→ applicabile in aree costiere o vicino a corpi d'acqua superficiali (utilizzando acqua di mare o di laghi, fiumi, lagune) ovviamente con modalità diverse

Toronto – lago Ontario (Canada)



impianti di grossa taglia alimentati da acqua di mare (Helsinki)



SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE GEOTERMICA A VENEZIA

PROGETTO DI SVILUPPO DELLA GEOTERMIA IN AREA URBANA (PRIMA COMUNITA' ENERGETICA AL MONDO D'ISOLA A VENEZIA?)

FATTIBILITA'

- SORGENTI DISPONIBILI: LAGUNA E SOTTOSUOLO
- TECNOLOGIA MATURA

IMPATTI

- MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' DELL'ARIA (azzeramento delle emissioni locali)
- RIDUZIONE DEI COSTI DI RISCALDAMENTO E DI RAFFRESCAMENTO
- INCREMENTO DELL' OCCUPAZIONE ED INNOVAZIONE DI IMPRESA REGIONALE
- MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' DELL'ACQUA (possibile ionizzazione)
- PRIMA COMUNITA' ENERGETICA GEOTERMICA A LIVELLO MONDIALE
- INTERAZIONE TRA RICERCA SCIENTIFICA- MONDO DEL LAVORO ED ENTI LOCALI
- POSSIBILITA' DI REALIZZAZIONE DI RETI DI TELECLIMATIZZAZIONE
- INNOVAZIONE IMPRENDITORIALE LOCALE ED OCCUPAZIONE
- VISIBILITA' ECOSOSTENIBILE VERSO UN TURISMO SENSIBILE

UNDERGROUND THERMAL ENERGY STORAGE

IMPROVING EFFICIENCY THROUGH SEASONAL HEAT STORAGE



Il solare, la biomassa o il calore di scarto sono spesso insufficienti per soddisfare la domanda di calore invernale.

Una delle sei tecnologie future per soddisfare il consumo energetico mondiale: l'accumulo di energia termica nel sottosuolo (IEA/OECD-Energy Roadmap 2030)



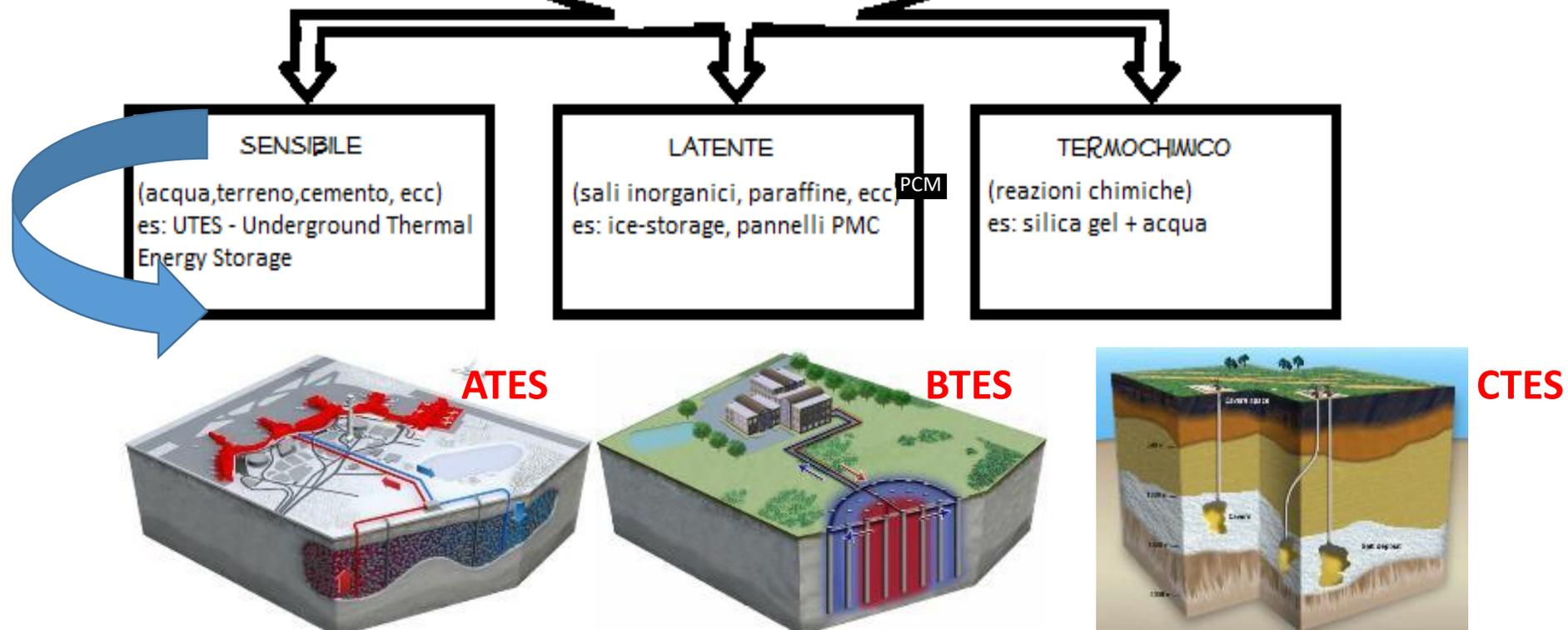
'Underground Thermal Energy Storage'

Sistemi di stoccaggio dell'energia termica nel sottosuolo

il sottosuolo può essere utilizzato come un serbatoio per lo stoccaggio del calore o del freddo

THERMAL ENERGY STORAGE

è possibile **stoccare e utilizzare in un momento successivo il calore (o il freddo)** prodotto sia da sorgenti rinnovabili (sole, energia geotermica ecc.) sia da scarto di altri processi (combustibili fossili, residuo rispetto all'uso primario).





Caratteristiche del sistema:

- ✓ ELEVATA CAPACITÀ DI IMMAGAZZINAMENTO (ELEVATA DENSITÀ ENERGETICA DI STOCCAGGIO)
- ✓ CAPACITÀ OTTIMALE DI TRASFERIMENTO TERMICO TRA IL FLUIDO TERMOVETTORE ED IL MATERIALE DEL BACINO DI STOCCAGGIO
- ✓ STABILITÀ MECCANICA E CHIMICA DEL MATERIALE CHE OSPITA LO STOCCAGGIO TERMICO
- ✓ UTILIZZO DI FLUIDI TERMOVETTORI COMPATIBILI CON L'AMBIENTE
- ✓ COMPLETA REVERSIBILITÀ DI CARICA-SCARICA CON NUMERO DI CICLI ILLIMITATO
- ✓ BASSE PERDITE TERMICHE
- ✓ CONTROLLO SEMPLICE

Analisi di idoneità geologico-ambientale:

- TEMPERATURA MEDIA ANNUA ARIA E GRADI GIORNO
- RADIAZIONE SOLARE MENSILE E ANNUA
- DISTRIBUZIONE DELLE ROCCE E DEI SEDIMENTI
- CONDUTTIVITÀ TERMICA DELLE ROCCE
- CAPACITÀ TERMICA DELLE ROCCE
- PRESENZA FALDA ACQUIFERA E CARATTERISTICHE DI MOBILITÀ

Processo di valutazione energetico-economica:

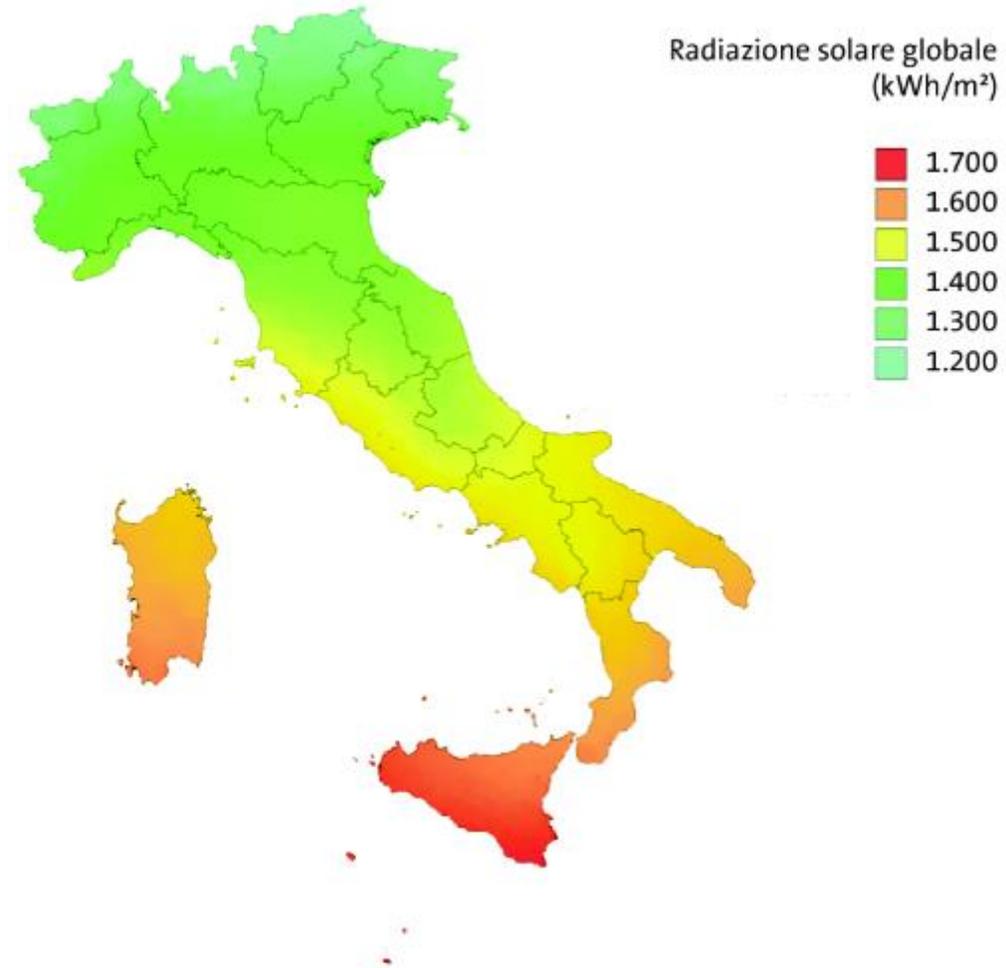
- INDIVIDUAZIONE DEGLI EDIFICI DESTINATARI
- IDONEITÀ O INTERVENTI DI ADEGUAMENTO
- VALUTAZIONE DEI FABBISOGNI ENERGETICI
- MODELLAZIONE TRANSYS-FEFLOW DELLA CAPACITÀ DI STOCCAGGIO ED UTILIZZO
- VALUTAZIONE COSTI-BENEFICI - PAYBACK DI INTERVENTO

RADIAZIONE SOLARE

Irradiazione in Italia su
superficie orizzontale,

H_h kWh/m² anno o MJ/m²
anno

1 kWh/m²=3,6 MJ/m²



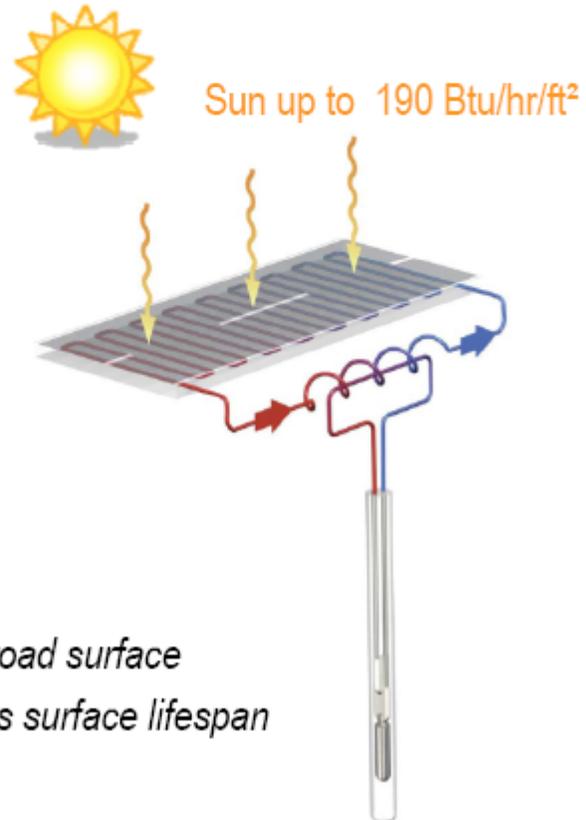
SCONGELAMENTO SUPERFICI STRADALI

SYSTEM COMPONENTS

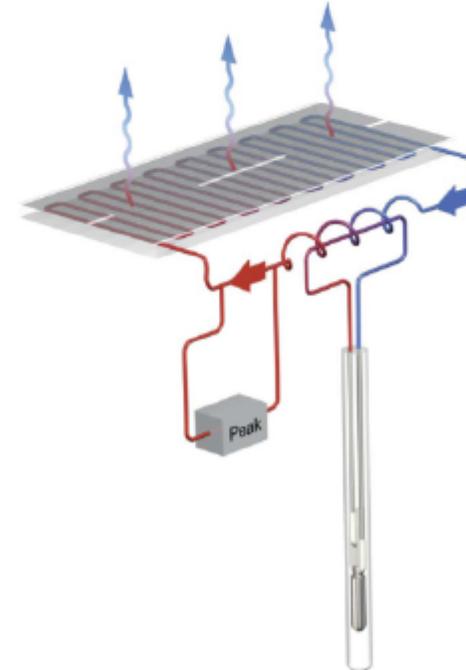
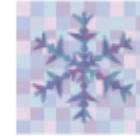
HEAT GENERATION OPTIONS – SOLAR ABSORBERS ON INFRASTRUCTURE PROJECTS

In **summer**, the traffic area acts as a solar thermal collector and the heat can be stored in the ground via PEXa probes.

In **winter**, heat is extracted from the ground via probes and transferred to the road surface



free from ice 50 Btu/hr/ft² or free from snow up to 95 Btu/hr/ft²



SCONGELAMENTO SUPERFICI STRADALI

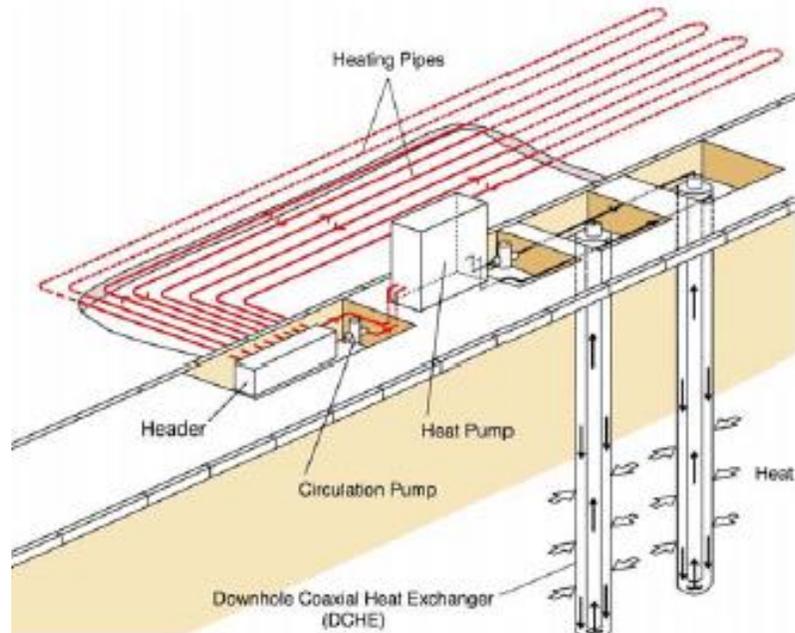


Fig. 1 Conceptual drawing of the Gaia Snow-Melting System.

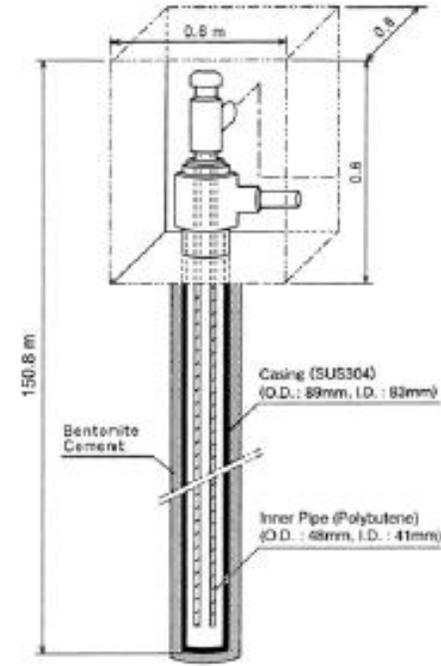


Fig. 2 Structure of the DCHE.



Fig. 3 Snow-melting condition at the upper section of the road on Feb. 13, 1996.



Fig. 4 Snow-melting condition at the lower section of the road on Feb. 13, 1996.

ACCUMULO ENERGIA SOLARE

CASE STUDIES

SOLAR ABSORBER – SUFFOLK, UK

System description

- Sixth Form College – new construction
- 215,000 ft² usable area for 2,200 students

Heat sources:

- 16,800 ft² bus stop used as a **solar absorber**

Heat storage:

- 18 x 330 ft probes as **underground geothermal energy storage**



COLLETTORI SOLARI

CASE STUDIES

SOLAR COLLECTORS – CRAILSHEIM, GERMANY

System description

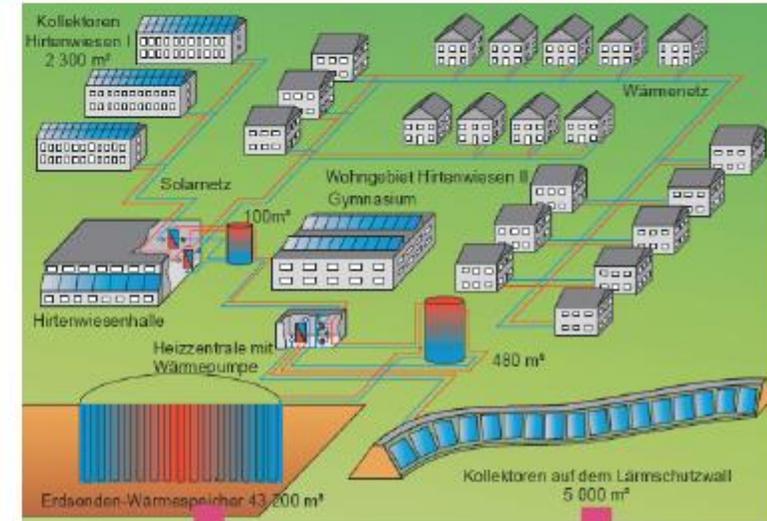
- 260 houses, 1 school, and 1 sports hall
- 4,100 MWh/yr (14 billion Btu/yr) with network
- temperatures flow/return 150/95°F

Heat sources:

- 79,000 ft² solar collectors with 5.1MW (17.4 million Btu/hr) peak output
- 750 kW heat pump (2.6 million Btu/hr)
- Supplementary heating through district heating network

Heat storage:

- 3,500 ft³ high temperature peak load storage (hot water)
- 17,000 ft³ buffer storage (hot water)
- 1.5 million ft³ borehole thermal energy storage (80 PEXa probes)



COLLETTORI SOLARI

CASE STUDIES

SOLAR COLLECTORS – BRAIDSTRUP, DENMARK

System description

- 6MW system (3,800 MWh/yr) for 1400 homes (20.5 million Btu/hr, 13 billion Btu/yr)

Heat sources:

- 183,000 ft² solar collectors (~3 football fields)

Heat storage:

- 48 PEXa probes at 150 ft deep and 250,000 ft³ buffer tank



COLLETTORI SOLARI

CASE STUDIES

SOLAR COLLECTORS – OKOTOKS, CANADA

System description

- 52 house community “Drakes Landing”

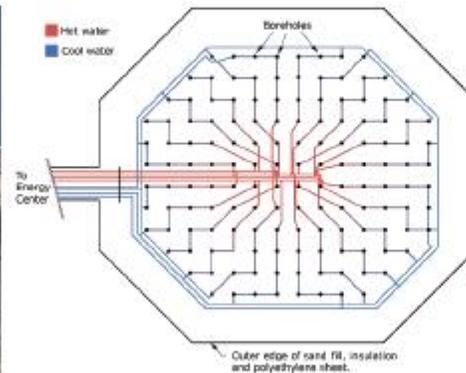
Heat sources:

- 800 solar thermal collectors (ca. 25,000 ft² area)

Heat storage:

- Borehole thermal energy storage of 144 PEXa probes at 115 ft depth

- Max. design temperature of borehole field: 175°F

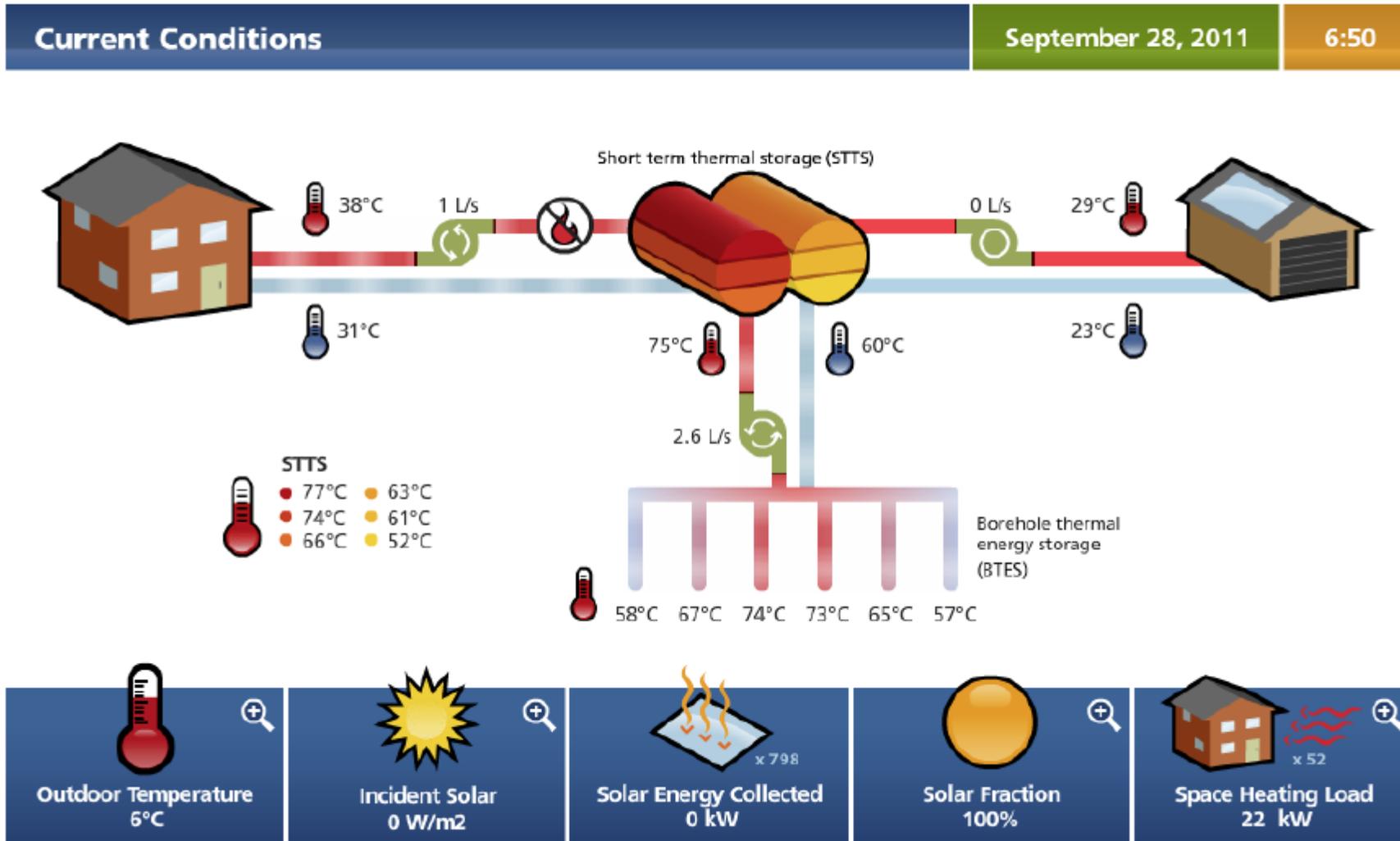


COLLETTORI SOLARI

CASE STUDIES

SOLAR COLLECTORS – OKOTOKS, CANADA

LIVE DATA AT WWW.DLSC.CA



MOTIVAZIONI PER UN PREVEDIBILE SVILUPPO DI SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO GEOTERMICI

- AMPIA DISPONIBILITÀ SUL TERRITORIO NAZIONALE DI SITUAZIONI GEOLOGICHE FAVOREVOLI
- TENDENZA A UN CONSISTENTE SVILUPPO DEL TELERISCALDAMENTO PER LA NECESSITÀ DI FIDELIZZAZIONE DEL CLIENTE FINALE
- DISPONIBILITÀ DI POMPE DI CALORE CHE POSSONO EROGARE ACQUA CALDA ALLA TEMPERATURA DI 90° C
- TREND DI CRESCITA DEL PREZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA INFERIORE A QUELLO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI
- CONTRIBUTO A FONDO PERDUTO (CREDITO D'IMPOSTA) PER SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO GEOTERMICI PARI A 0,0258 EURO/kWh IN CONTO ESERCIZIO E 20,66 EURO/kWh IN CONTO CAPITALE (SOLO PER ZONE CLIMATICHE E ED F)



Sistema di accumulo in serbatoio isolato

Munich: Realization of tank thermal energy storage



Source: Fisch et al. (1998, *Solar Energy* 63:355-366, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0038092X>)

Sistema di accumulo termico in un'area di scavo con ghiaia satura

Gravel-water pit in Steinfurt, 1 500 m³, 1999



Pfiel and Koch (2000, Pfiel, M. and Koch, H. (2000, *Solar Energy* 69:461-467,

Cold food storage using a dismissed mine site



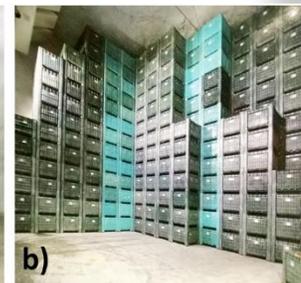
prof. Geol. Antonio Galgaro
University of Padova - Italy

TASSULLO

Hollow mines to be reused



Expansion of apple storage space



Fruit storage in an IPOGEO environment

An agreement between Tassullo Materiali SpA and Consorzio Melinda SCA allowed the project of hypogeal warehouses for underground food storage to begin. Tassullo Materiali SpA is a company specialized in the production of building materials and cements; thank to the quality and the availability of dolomite rock type, this company provides material for historical building restauration. Consorzio Melinda SCA is a very large consortium of regional apple farmers which is able to commerce apples and other types of fruit in all the European community.

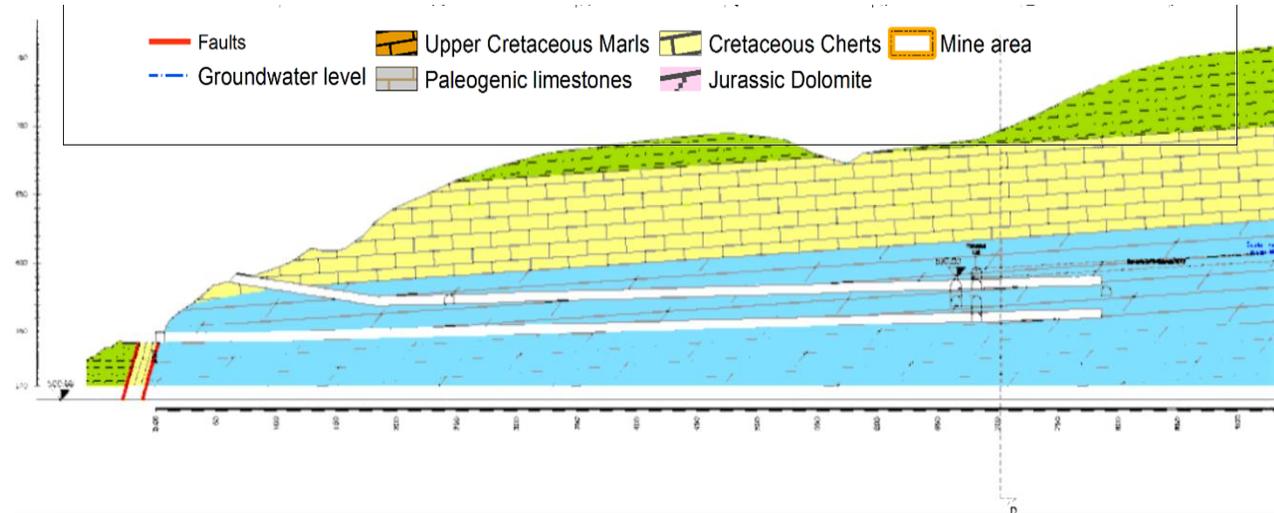
«Rio Maggiore» mining site



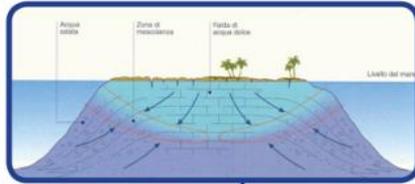
Extracted material:
Torra Dolomites (Dolomia di Torra)

Site features:

- Mining site of 80 hectares
- Self-stable compact rock
- Galleries completely dry
- No presence of endogenous gases
- Constant internal temperature (10 ° C)
- Mine located in Val di Non near the main communication routes
- No environmental impact
- Two-way driveway tunnels - 7 m height



Underground storage: the rock



Sezionato nella sezione risulta in 2 generazioni di cristalli a calcite (Prof. Andrea Fuganti). Dolomite, gesso e sale, con 2 generazioni di cristalli calcite (Prof. Andrea Fuganti).



Il primo studioso di questa roccia, il francese Déodat de Dolomieu (1750-1801).
The first scholar of this rock, the French Déodat de Dolomieu, (1750-1801).



THE DOLOMITE

The dolomite is a carbonate sedimentary rock composed of the dolomite mineral, a double calcium and magnesium carbonate.

It was formed in the Jurassic period, between 130 and 190 million years ago, when Val di Non was characterized by sea cliffs.

The discoverer of this rock was the French naturalist and geologist Déodat de Dolomieu (1750-1801); therefore the name of this rock was universally given to his honour.

The upper part of the dolomite emerging in Tuenetto was called 'Dolomia di Torre' by Professor Andrea Fuganti, like the village having the same name and it is a regular stratification paleontologically characterized by Gastropods and Algae.



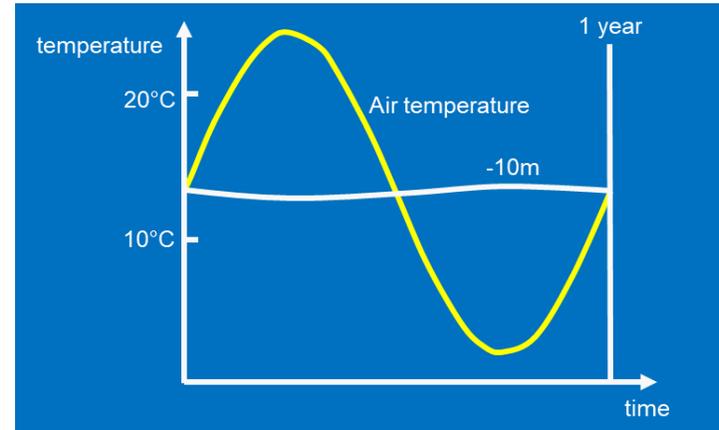
EXTRACTION OF DOLOMITE

In 2004 Tassullo SpA opens the Rio Maggiore Mine after years of research and perforations in order to provide the productive establishment of Mollaro with Dolomite, that is the raw materials used for the ready products.

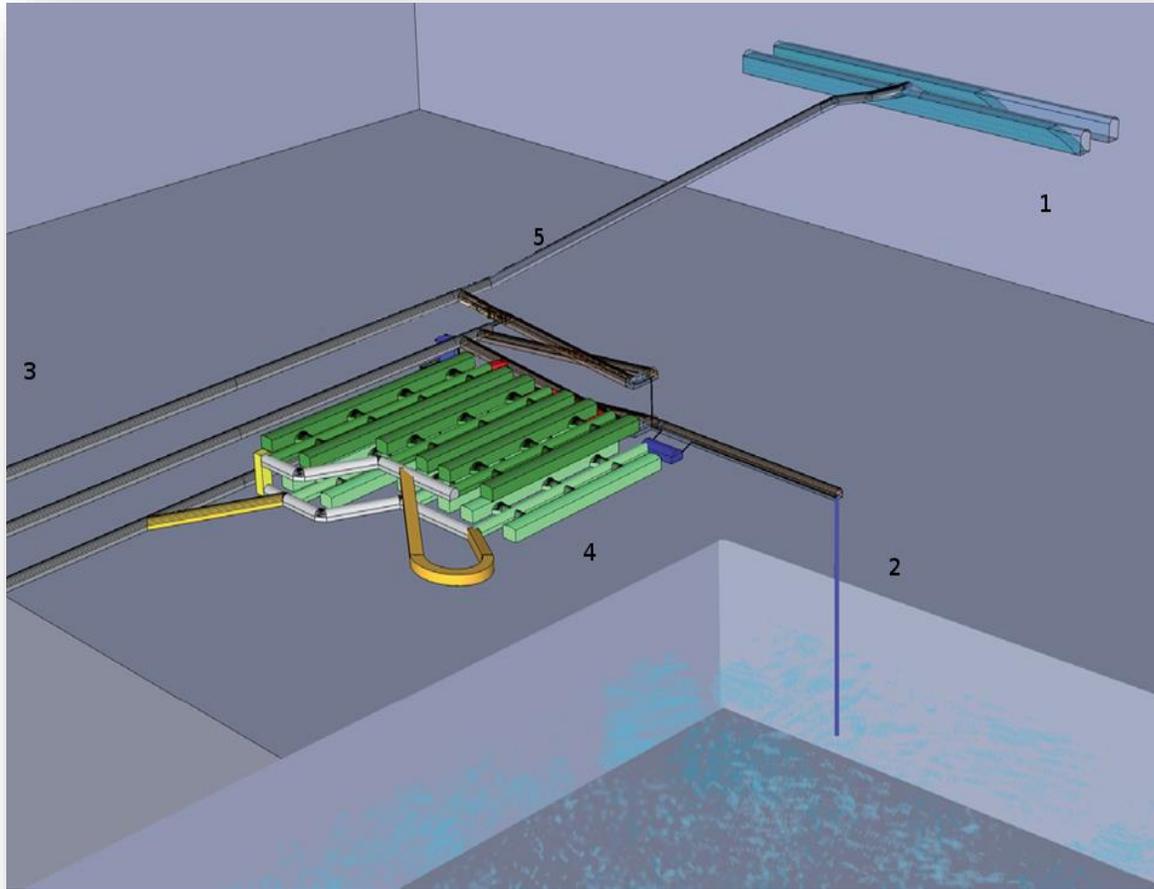
The modern underground quarry is characterized by a complex and vast structure, with main roads having 9 metres diameter and 300.000 cubic metres of space for cultivation. The depth varies from one hundred to four hundred metres compared with the surface.

The underground extraction of the dolomite through automatized drilling machines, guarantees a sustainable supply to the establishment of Mollaro without using transport on wheels: the underground semifinished raw materials serves the establishment for the next processing through conveyor belts, avoiding noise and dust.

The underground quarry above all conservation of the valuable territory and safeguards the agricultural landscape and woodland areas.



Tassullo exploits its license area in Val di Non by mining the dry dolomite material (Torra Dolomite). Due to the agreements with Melinda, the mine is going to be developed to also allow the realisation of the hypogean warehouses for food storage purposes



3D view of the planned mines, hypogean warehouses and groundwater storage system. 1. Groundwater reservoir; 2. Water well exploiting the beneath groundwater; 3. Access to the mine area; 4. Food storage warehouses (mines); 5. Connections.



Territory consumption



Specific consumption of the territory

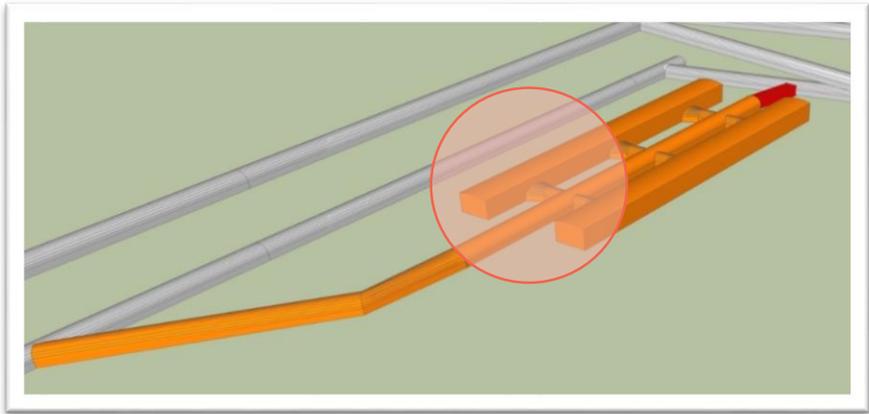
0,45 m²/t (apple preservation)
0,22 m²/t (bins storage)



Specific consumption of the territory

0,00 m²/t (apple preservation)
0,00 m²/t (bins storage)

REALIZATION OF TUNNELS

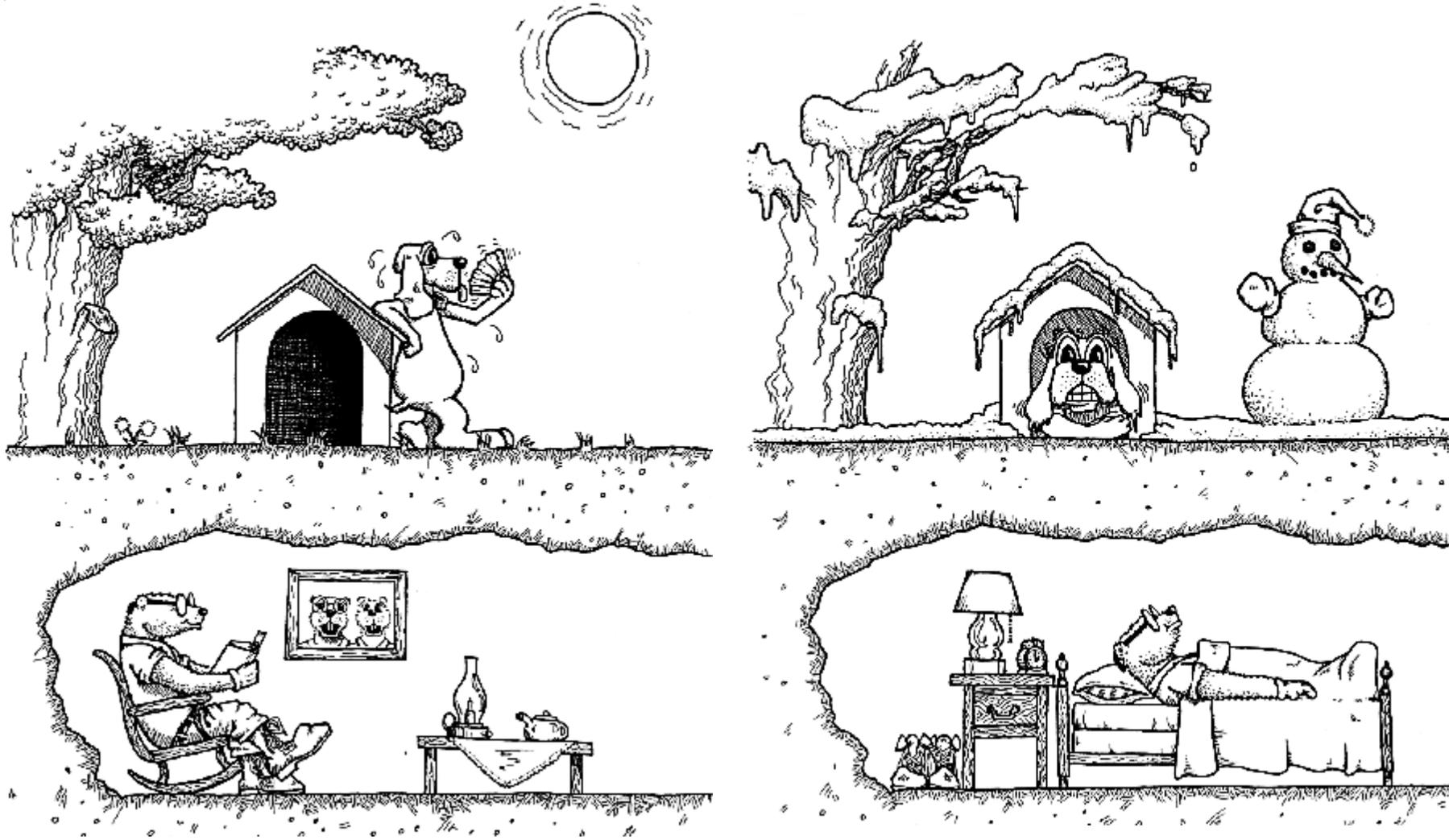




Lungo la strada.....



In estate ed in inverno, nel sottosuolo la temperatura costante consente di mantenere temperature confortevoli



**Non è necessario vivere nel sottosuolo,
ma scambiare calore con la superficie!!!!**