



Gruppo di lavoro Assetto Territorio -  
Area tematica AMBIENTE



Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
CHIMICA AMBIENTALE E DEI MATERIALI

con il patrocinio del Dipartimento DICAM  
Università degli Studi di Bologna

Con la collaborazione della Direzione Mineraria delle TERME DI PORRETTA

## CONVEGNO

# I nostri primi 10 anni L'attualità del magistero del Prof. Fulvio Ciancabilla a dieci anni dalla scomparsa

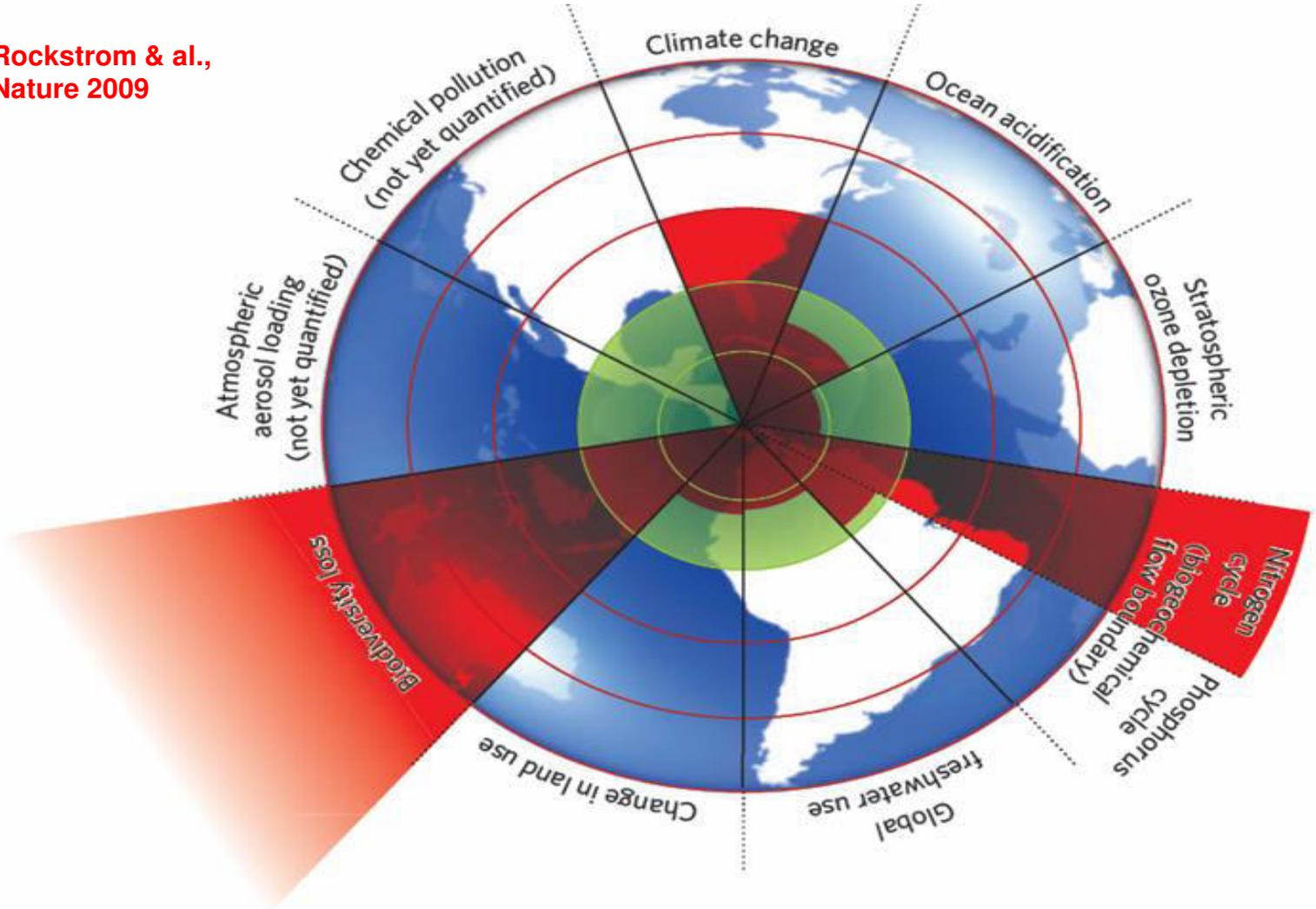
venerdì 18 Marzo 2016 - Bologna

Aula Magna Scuola di Ingegneria e Architettura, Viale Risorgimento 2

*La maggiore attenzione all'ambiente ed il contrasto ai cambiamenti climatici spingono verso l'utilizzo della geotermia a bassa entalpia?*

*Gabriele Cesari geologo*

Rockstrom & al.,  
Nature 2009



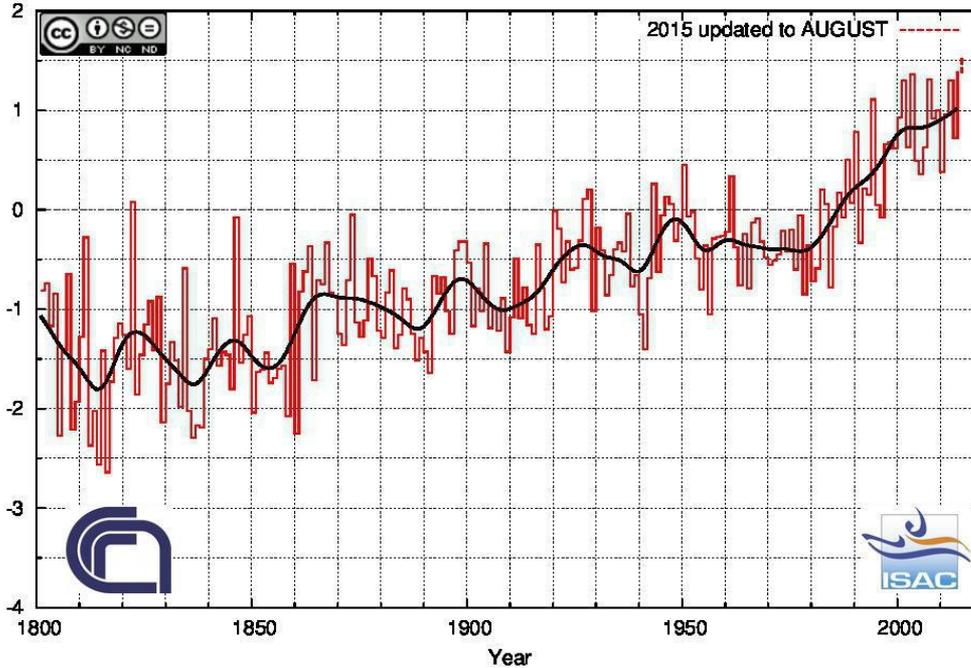
**Figure 1 | Beyond the boundary.** The inner green shading represents the proposed safe operating space for nine planetary systems. The red wedges represent an estimate of the current position for each variable. The boundaries in three systems (rate of biodiversity loss, climate change and human interference with the nitrogen cycle), have already been exceeded.



## A safe operating space for humanity

Identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue **Johan Rockström** and colleagues.

ANNUAL MEAN TEMPERATURE



## Riscaldamento globale

Il ritiro dei ghiacciai è un «robusto indicatore» del riscaldamento globale degli ultimi decenni, facilmente percepibile da tutti



1897  
(f. Druetti)

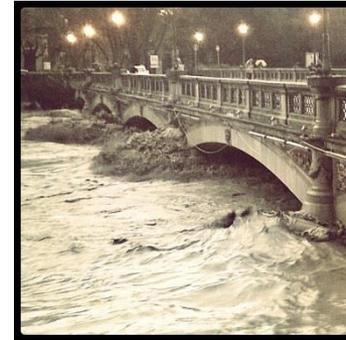
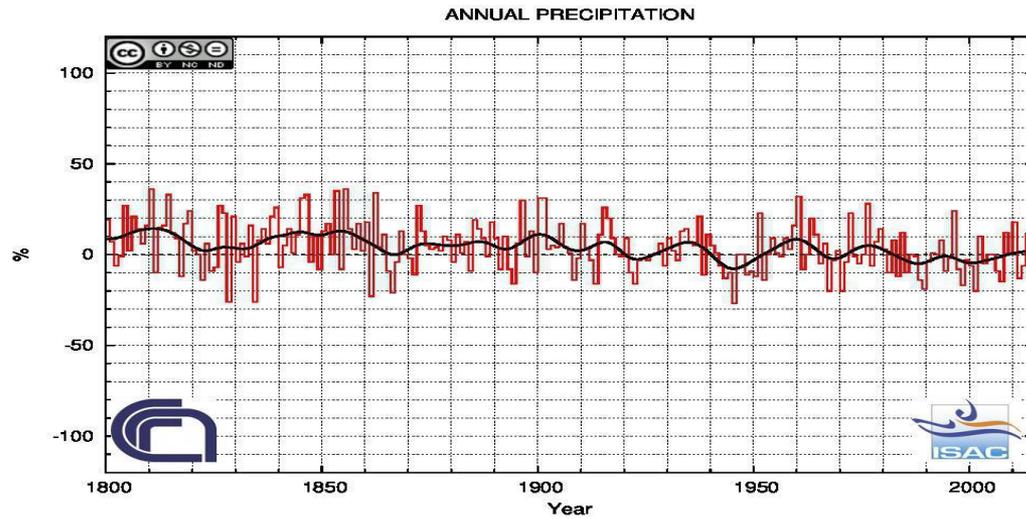


2005  
(f. L. Mercalli)



2012  
(f. L. Mercalli)

# La sfida dei cambiamenti climatici



Parma, 2015

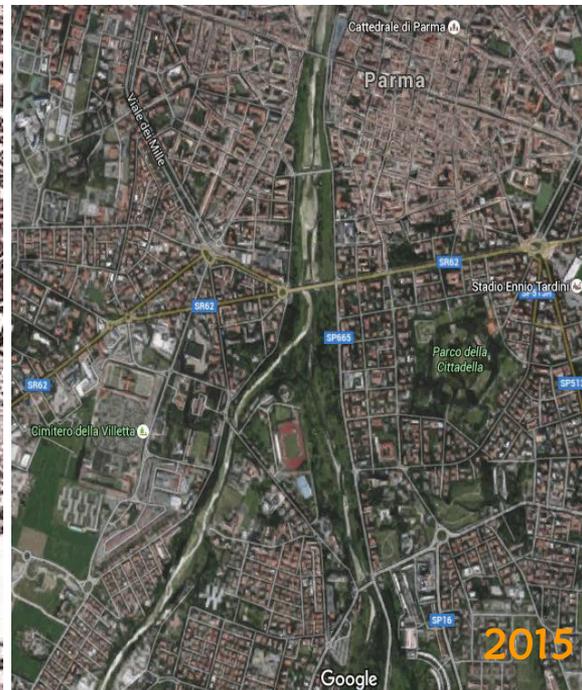
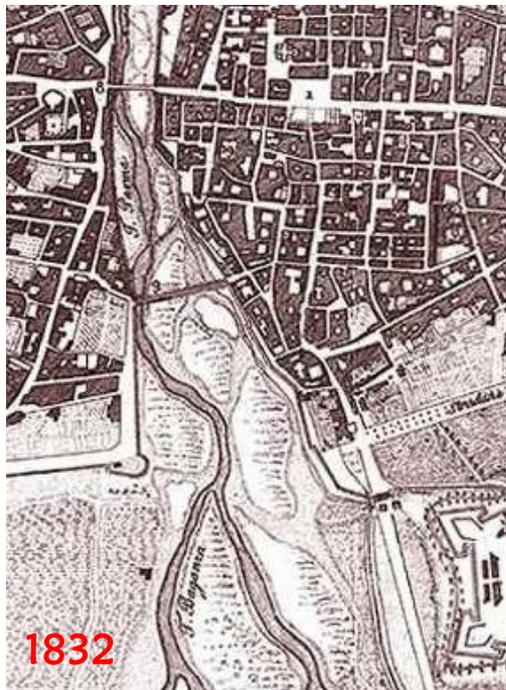


## Aumento dei

## fenomeni estremi

Sempre più frequentemente assistiamo ad alluvioni ed inondazioni che vengono anch'esse associate ai cambiamenti climatici in atto.

In questo caso i trend di precipitazione (totale annua) non hanno una correlazione evidente e certamente i fenomeni hanno anche una motivazione «urbanistica»

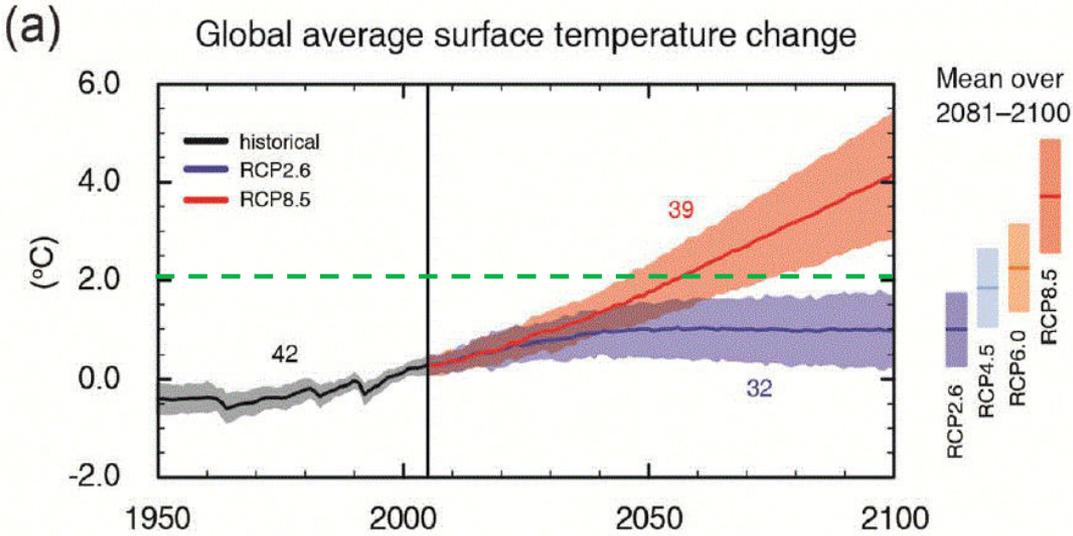


# La sfida dei cambiamenti climatici al centro dell'agenda mondiale



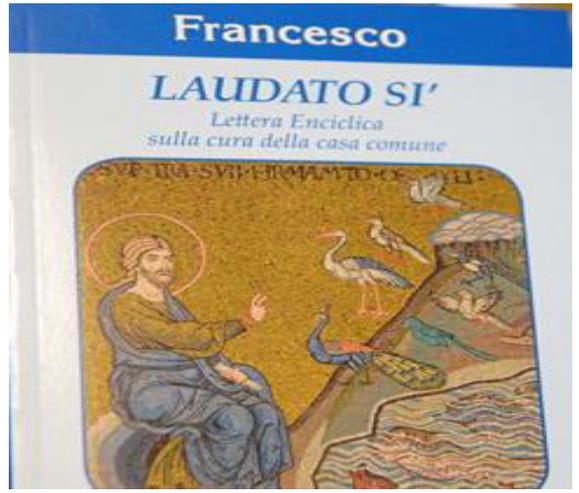
PARIS2015  
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE  
COP21·CMP11

## Parigi '15 - COP21



A Parigi le nazioni partecipanti hanno siglato un accordo internazionale di azioni sul clima per limitare il riscaldamento globale a fine secolo a meno di 2 °C

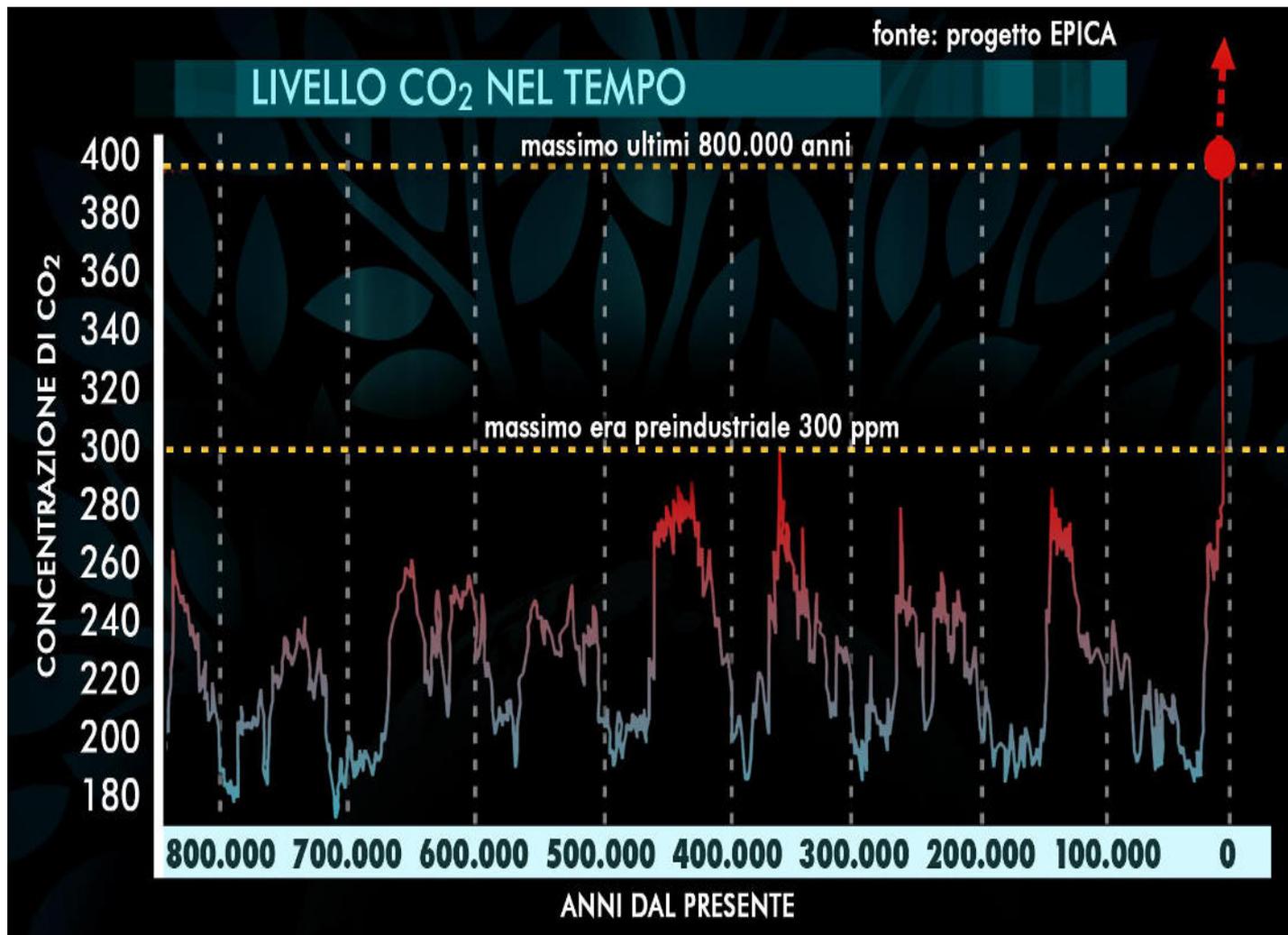
## Enciclica Laudato Si'



La recente Enciclica di Papa Francesco è completamente incentrata sul tema ambientale – con un approccio integrale - e mette al centro il tema del contrasto ai cambiamenti climatici e la sostenibilità come elemento di equità e sviluppo



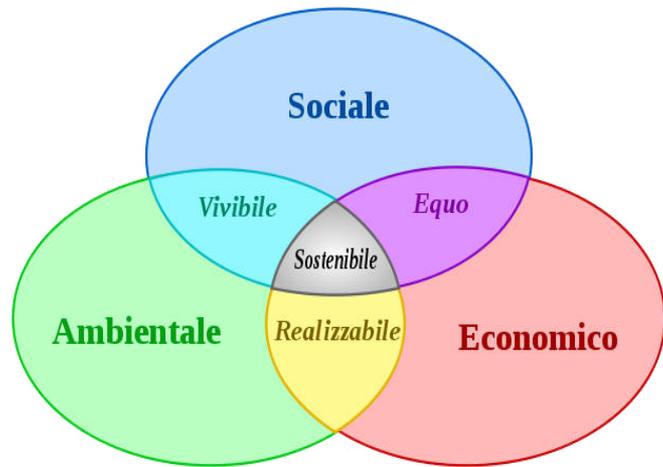
# La sfida dei cambiamenti climatici al centro dell'agenda mondiale



La comunità scientifica concorda sul fatto che il primo fattore di contrasto ai cambiamenti climatici è la riduzione nelle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera derivanti dalle attività antropiche

Concetto di sviluppo sostenibile (G.H. Brundtland – WCED 1987):

“Lo **sviluppo sostenibile** [...] è processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l’orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali”



- **Sostenibilità economica:** intesa come capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento della popolazione.
- **Sostenibilità sociale:** intesa come capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione, democrazia, partecipazione, giustizia.) equamente distribuite per classi e genere.
- **Sostenibilità ambientale:** intesa come capacità di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.

L'area risultante dall'intersezione delle tre componenti, coincide idealmente con lo **sviluppo sostenibile**.

La sostenibilità nel campo dell'energia termica è data da diversi fattori:

- **ambientali** (emissioni di CO<sub>2</sub>, altre emissioni, impatti sul paesaggio, rumore, ecc...)
- **sociali** (sicurezza degli impianti, uso di risorse finite, ubiquitarie, ecc...)
- **economici** (costi di investimento e di gestione, tempi di ritorno, durata impianti)

# Principali utilizzazioni della risorsa geotermica

## Alta temperatura ( $T > 150^\circ$ )

### Produzione energia elettrica

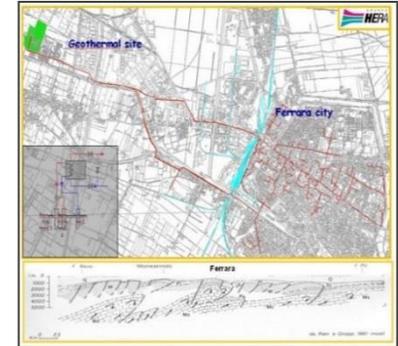
Zone: Versante Tirrenico (Toscana in particolare). L'Italia (Eni-Enel) è riferimento nel mondo per questa applicazione.



## Media temperatura ( $150^\circ > T > 90^\circ$ )

### Teleriscaldamento e produzione energia elettrica con nuove tecnologie

Zone: in varie regioni italiane (vedi carta potenzialità geotermiche).



## Medio-bassa temperatura ( $90^\circ > T > 30^\circ$ )

### Uso diretto del calore (riscaldamento e termalismo)

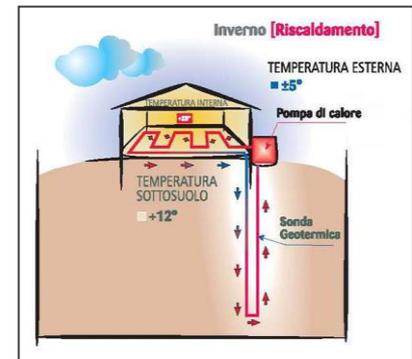
Zone: diffusissimo in Italia  
Da considerare come opportunità integrativa ai sistemi a pompe di calore  
In molti casi



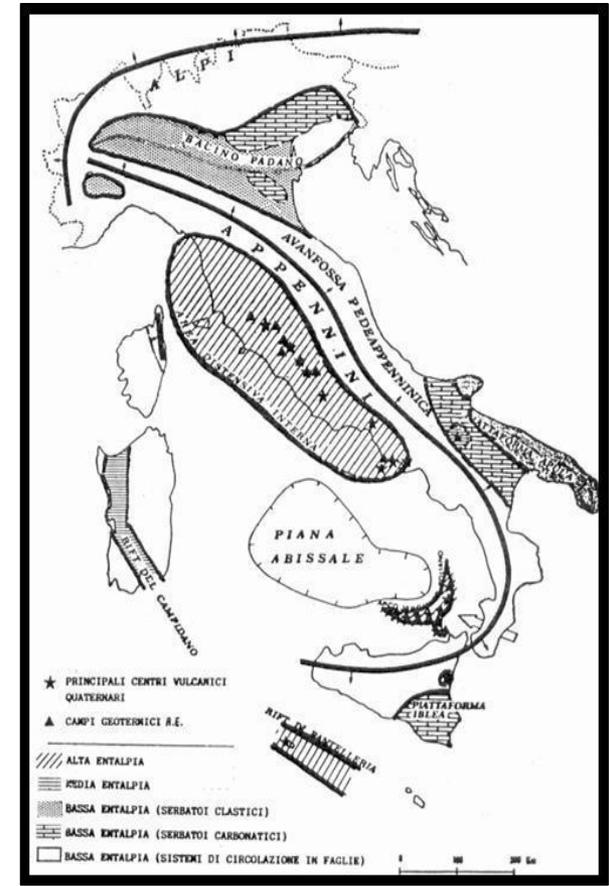
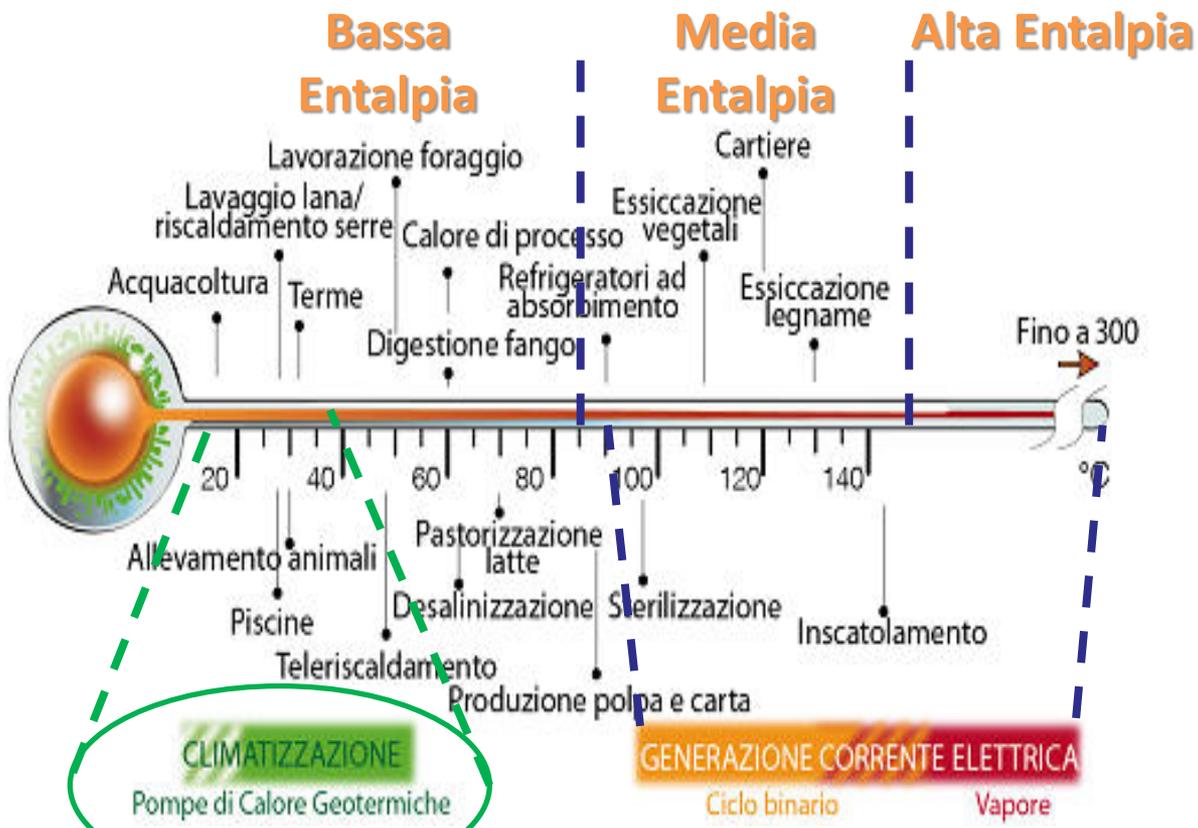
## Bassa/bassissima temperatura ( $T < 30^\circ$ )

### Uso indiretto del calore (con pompe di calore)

Zone: applicabile ovunque con rare eccezioni definite da condizioni geologiche particolari. Sistemi open-loop e closed-loop

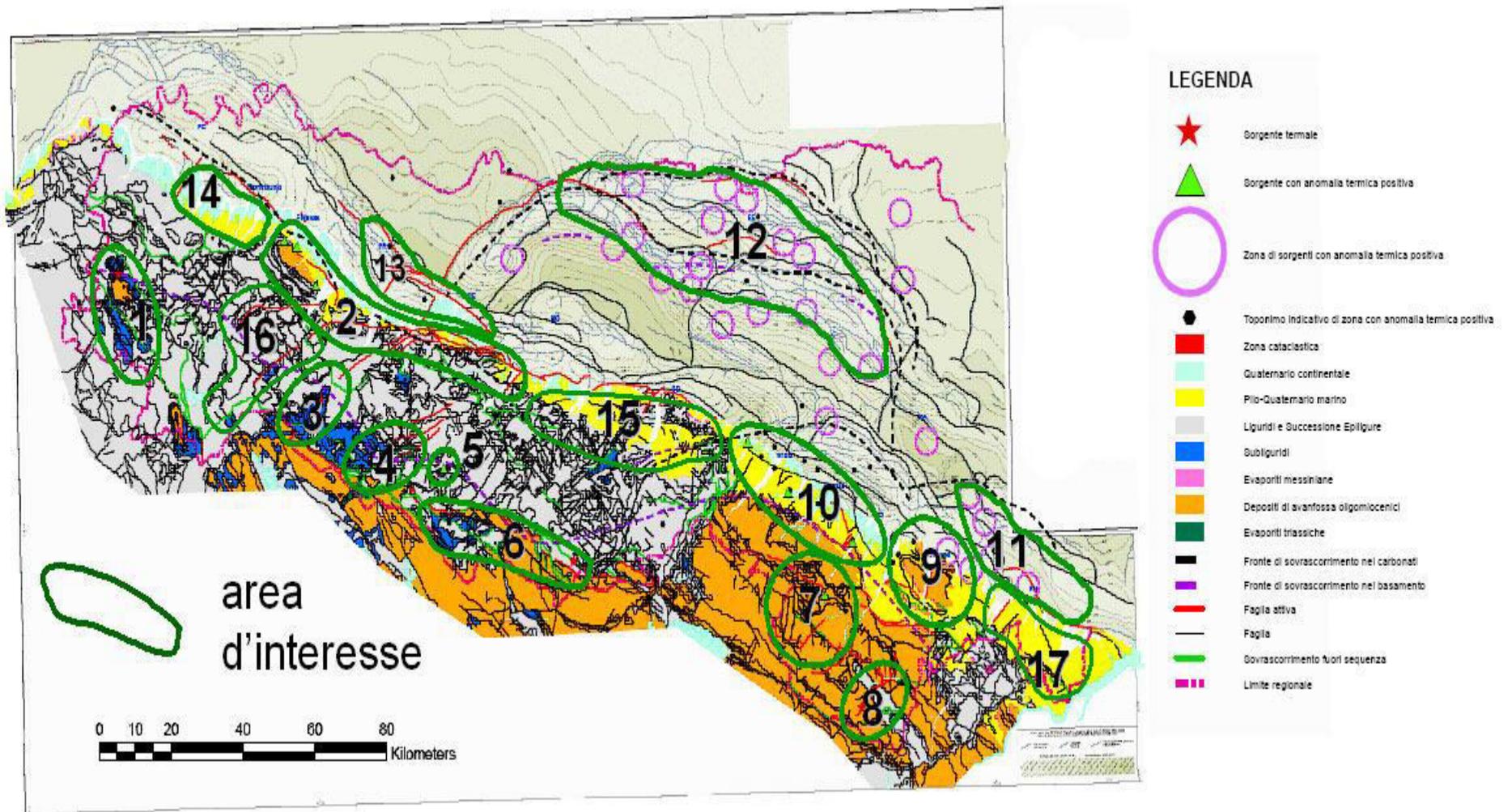


# Applicazioni geotermiche in funzione della temperatura della risorsa disponibile



Carta delle potenzialità geotermiche di media e alta temperatura in Italia. (Della Vedova et al.)

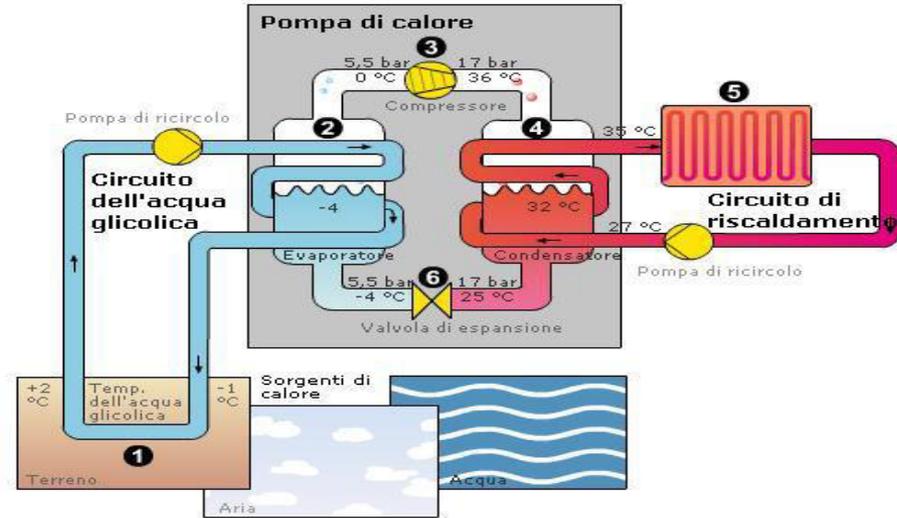
# Potenzialità della risorsa geotermica a bassa entalpia in Emilia-Romagna



«Analisi preliminare per la valutazione del potenziale geotermico in Emilia-Romagna - Rapporto 2008» (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione Emilia-Romagna)

# Geo Scambio Termico con pompe di calore

La pompa di calore è una macchina frigorifera in cui il liquido refrigerante compie un “ciclo di Carnot” con due cambiamenti di fase (con scambio di calore): evaporazione (sottrazione di calore) e condensazione (cessione di calore)

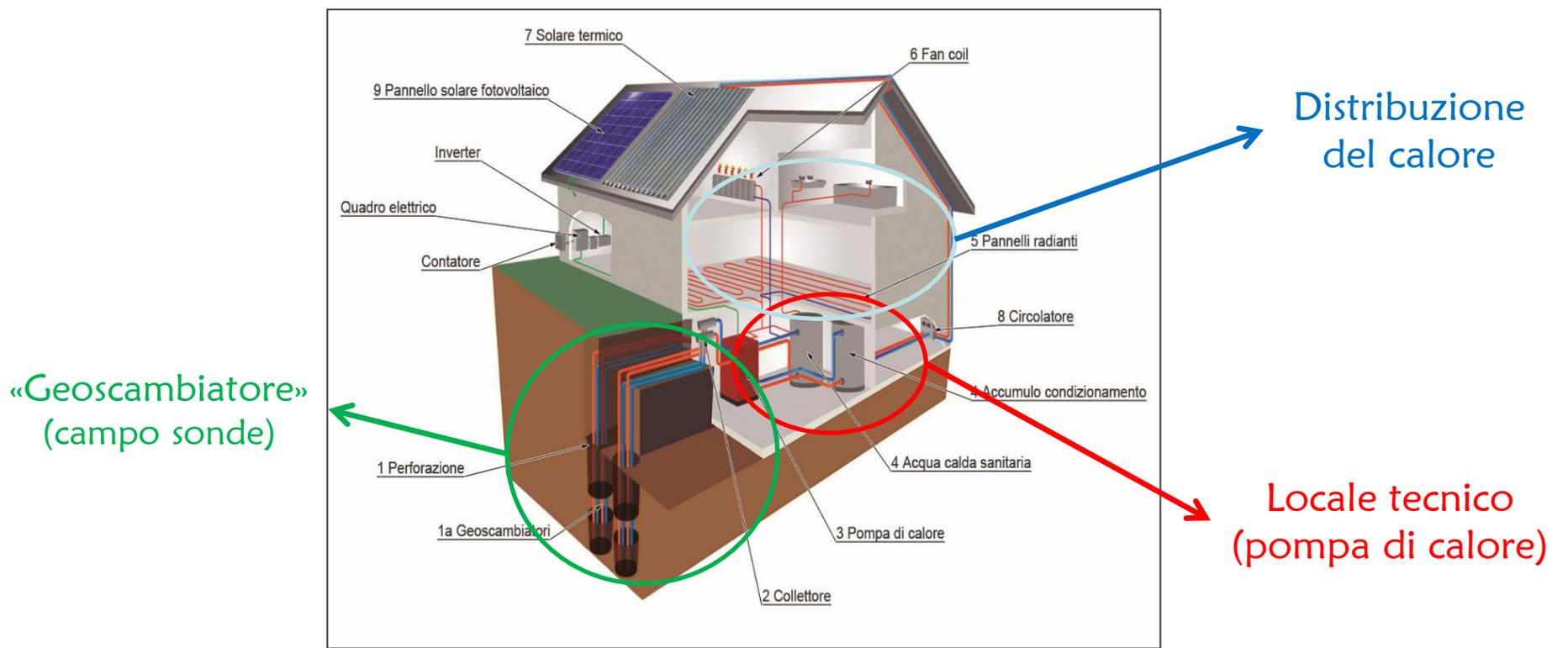


I sistemi in pompa di calore permettono di fornire calore ad un ambiente mediante una “sorgente fredda”, con una quota minima di energia (generalmente elettrica). Nel caso delle pompe di calore geotermiche la “sorgente fredda” è il terreno

Il sistema è tanto più efficiente quanto maggiore è il rapporto (COP) tra energia termica fornita all’edificio ed energia consumata.

Attenzione: l’efficienza dei sistemi in pompa di calore si misura in termini di SPF (valore stagionale) e non di COP (valore puntuale)

# Geo Scambio Termico con pompe di calore



*La pompa di calore preleva calore dalla «sorgente fredda» (il terreno) e lo trasferisce all'edificio. D'estate il ciclo è reversibile: si trasferisce al terreno il calore prelevato dall'edificio*

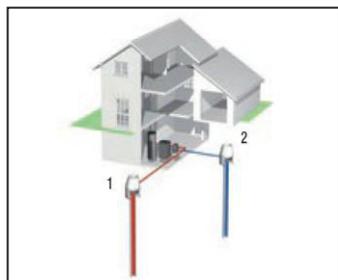
- Pre-requisito: edifici ben coibentati e di classe energetica elevata
- Pompa di calore: trasferisce calore da una “sorgente fredda” ad un corpo a temperatura maggiore
- Impianto di distribuzione: preferibilmente a bassa temperatura (meglio se con elevata inerzia termica)
- Produzione di acqua calda sanitaria: con accumuli inerziali per ridurre le potenze della PdC
- Raffrescamento: naturale o “free cooling” solo circolazione e scambio, o “active cooling” inversione ciclo PdC



# Tipologie di Geoscambiatore

## Circuiti aperti o «open loop»

### Scambio con acqua di falda



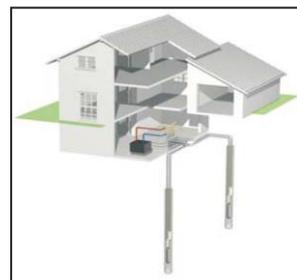
Sistemi costituiti da uno o più pozzi di presa e (generalmente) uno di reimmissione in falda. Sfruttano la temperatura (costante) dell'acqua di falda. Sistemi efficienti e competitivi per impianti di grandi dimensioni, a volte con impatto sulla risorsa idrica sotterranea

### Altri geoscambiatori

Altri «geoscambiatori» sono quelli che utilizzano come sorgente termica l'acqua di lago, di laguna, di mare o di un corso d'acqua superficiale. La fattibilità e l'efficienza di questo tipo di impianti è molto variabile e dipende dal contesto in cui si opera.

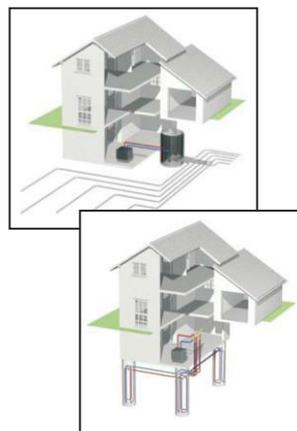
## Circuiti chiusi o «closed loop»

### Sonde geotermiche verticali



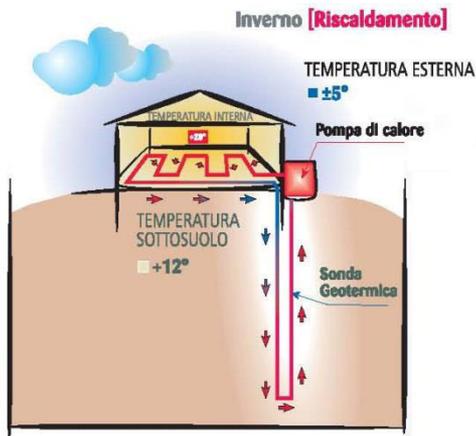
Il sistema di geoscambio più diffuso (oltre che più efficiente e sostenibile dal punto di vista ambientale) è quello costituito da circuiti chiusi - «sonde» verticali - inseriti entro perforazioni da 80 a 150 metri. E' il sistema più costoso, soprattutto per grandi impianti; fattibile praticamente ovunque.

### Altri geoscambiatori «closed loop»



Altri geoscambiatori a circuito chiuso - meno costosi, ma meno efficienti e poco diffusi - sono rappresentati da collettori orizzontali (generalmente posti a 2-4 m di profondità, in aree pianeggianti dedicate), oppure da «strutture geoenergetiche» ossia da circuiti inseriti all'interno di fondazioni profonde.

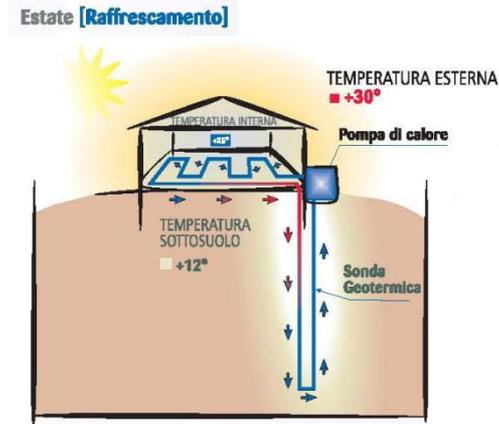
## Riscaldamento (invernale)



In modalità riscaldamento il fluido di circolazione scende attraverso la sonda di mandata ad una temperatura inferiore a quella del terreno e risale ad una temperatura di 3-5° superiore, dopo avere “estratto” calore dal terreno per conduzione.

La pompa di calore trasferisce il calore estratto dal terreno all'impianto di distribuzione con acqua in mandata ad una temperatura di 32-35° e ritorno dall'impianto a 3-5° in meno. In tal modo cede calore all'ambiente

## Raffrescamento (estivo)



In modalità raffrescamento il ciclo è invertito e l'acqua che circola nelle sonde geotermiche si raffredda per effetto della temperatura minore del terreno.

Mediante un semplice scambiatore di calore si ha un raffrescamento naturale (o **free cooling**) che permette di abbassare lievemente la temperatura in ambiente.

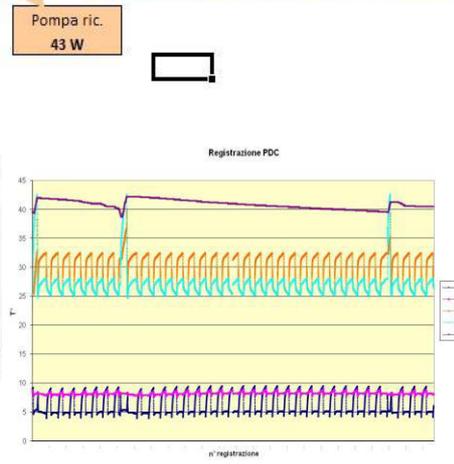
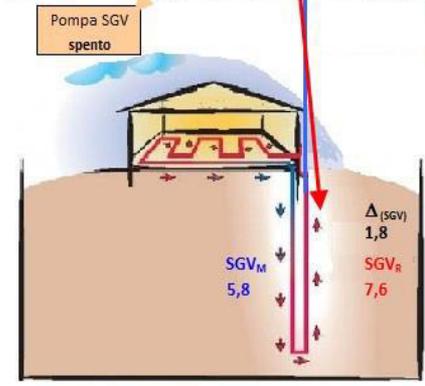
Qualora tale raffrescamento naturale non sia sufficiente il ciclo della pompa di calore si inverte e il compressore permette di mandare acqua refrigerata a bassa temperatura all'impianto. In tal caso è necessario deumidificare l'ambiente

## INTERVENTO

- Nuova villetta bifamigliare realizzato con Ytong strutturale
- Classe energ. involucro: “B”
- Sup. climatizzata: 190 mq per ogni unità abitativa
- Pompa di calore di potenza termica 8 kwt (per ogni abitazione)
- 2 sonde verticali da 100 m./cad
- In funzione da Ottobre ‘10
- Sovracosto iniziale circa 12.000 € per unità
- Consumo annuo ca. 3.500 kWh (€ 700 ca.) per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda san.)
- Circa 2,2 TEP/anno da fonte rinnovabile



23/1/11 21:22
<b>MONITORAGGIO SPENTO</b> DURATA MONIT.: 19:56:57
<b>POMPA DI CALORE SPENTA DA</b> 0:16:53
ENERGIA TERMICA tot 76,15 kWh ENERGIA ELETTRICA tot 18,93 kWh COP imp. 4,02 % accens. 56,5%
<b>Pompa di calore</b> Compressore spento Pot. Termica erogata 4,90 kw Pot. Elettrica ass. 0,00 kw COP p.d.c. (ist.) spento



42,80  
(Set ACS) 45

Pompa SGV spento

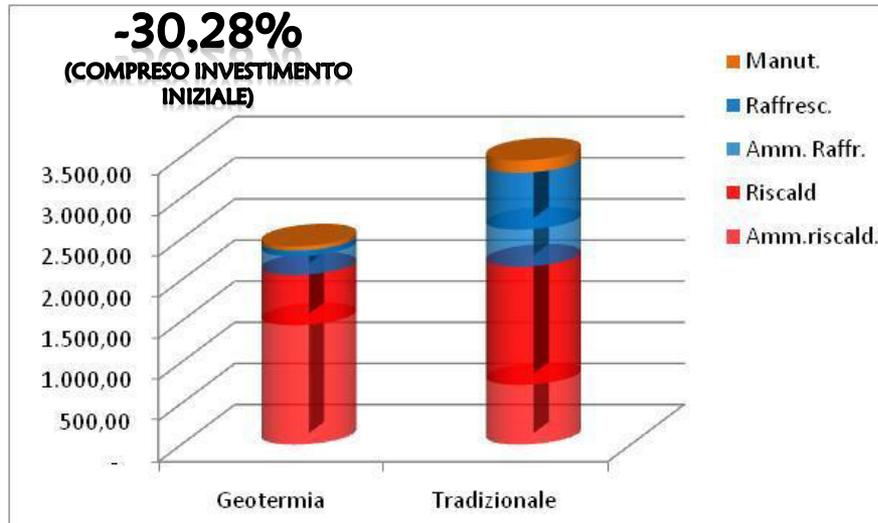
Pompa ric. 43 W

RISC<sub>M</sub> 28,4  
RISC<sub>R</sub> 25  
 $\Delta_{(RISC)}$  3,8

$\Delta_{(SGV)}$  1,8  
SGV<sub>M</sub> 5,8  
SGV<sub>R</sub> 7,6

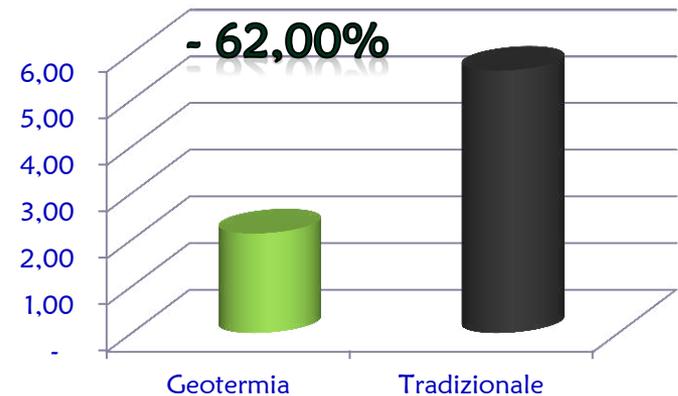
## Convenienza economica

(raffronto su 20 anni di funzionamento)



## Convenienza ambientale

Emissioni annuali di CO<sub>2</sub> espresse in tonnellate



**3,5 TONN EMISSIONI CO<sub>2</sub> EVITATE OGNI ANNO, CORRISPONDENTI CIRCA ALLE EMISSIONI DI UN AUTO DIESEL DI MEDIA CILINDRATA**





# Riqualificazione patrimonio edilizio es.

Milano, riqualificazione palazzo in centro storico

## INTERVENTO

- *Riqualificazione palazzo storico e realizzazione residenze di pregio*
- *Classe energetica: A/B*
- *Sup. climatizzata: 3170 mq totali.*



## IMPIANTO GEOTERMICO

- *Copertura del 30% dei carichi invernali e 40% dei carichi estivi*
- *Tipologia: 10 sonde verticali da 150m*
- *Realizzazione: Novembre 2012*
- *Potenza termica invernale complessiva servita da impianto geotermico : 76 kwt*
- *Potenza termica estiva complessiva servita da impianto geotermico : 60 kwt*
- *Circa 30 ton/anno CO2 evitate*
- *Circa 18 TEP/anno da fonte rinnovabile*





## Bologna, nido d'infanzia GAIA Via Felice Battaglia

### INTERVENTO

- *Realizzazione nuova scuola zero emission con impianto fotovoltaico*
- *Classe energetica: "A/B"*
- *Sup. climatizzata: circa 240 mq totali.*

### IMPIANTO GEOTERMICO

- *Tipologia: 4 sonde verticali profondità 100 m*
- *Potenza imp.: 15 kwt*
- *Data Realizzazione: Nov '07*
- *In esercizio da: Dic. '08*
- *Circa 7 ton/anno CO2 evitate*
- *Circa 4,5 TEP/anno da fonte rinnovabile*





# Terziario - Centri commerciali

Settimo Torinese, nuovo centro «Settimo Cielo»

## INTERVENTO

- *Primo lotto di un nuovo centro commerciale di sup. 80.000 mq.*
- *4.800 posti auto*
- *Climatizzazione con teleriscaldamento da cogenerazione ed integrazione con pompe di calore geotermiche, solare termico per ACS e impianto fotovoltaico;*



## IMPIANTO GEOTERMICO

- *Tipologia: 26 sonde verticali da 100m*
- *Realizzazione: Gennaio-Febbraio 2011*
- *Potenza PdC geotermiche: 120 kwt*
- *Copertura: circa il 15% del fabbisogno*
- *Circa 40 ton/anno CO2 evitate*
- *Circa 30 TEP/anno da fonte rinnovabile*



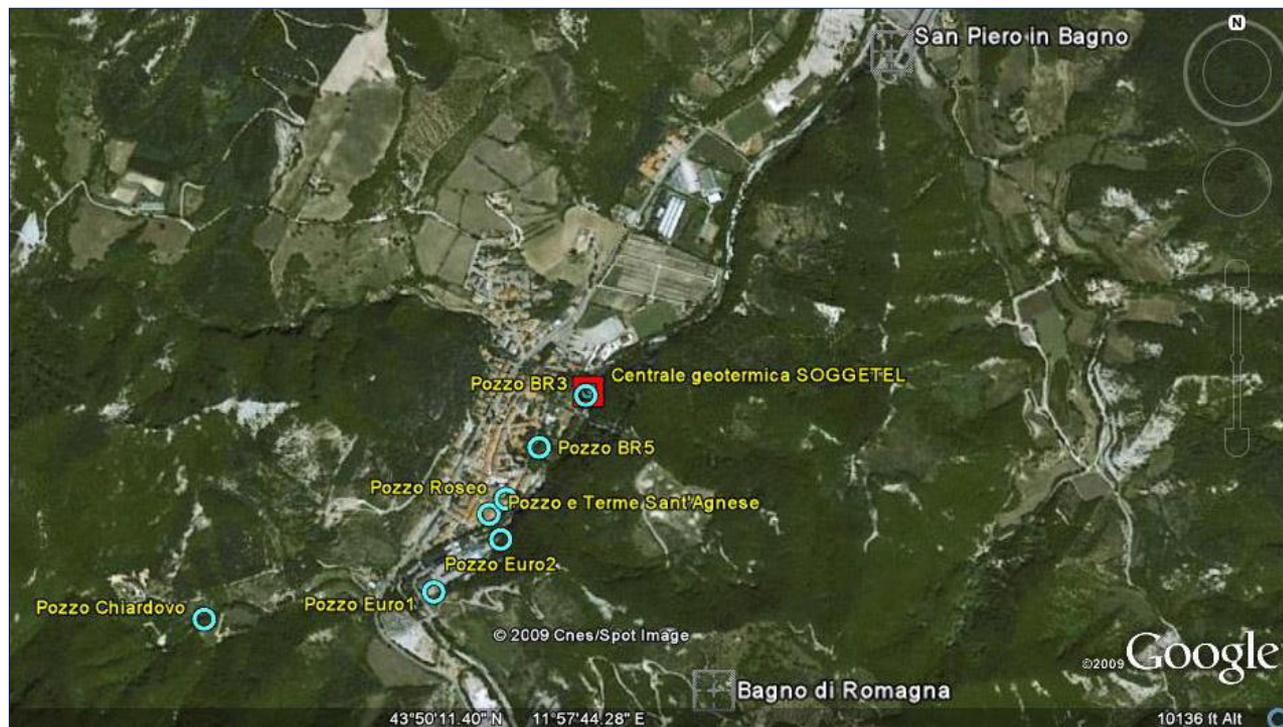


# Teleriscaldamento in aree termali

## Bagno di Romagna – Recupero energetico del cascame termico

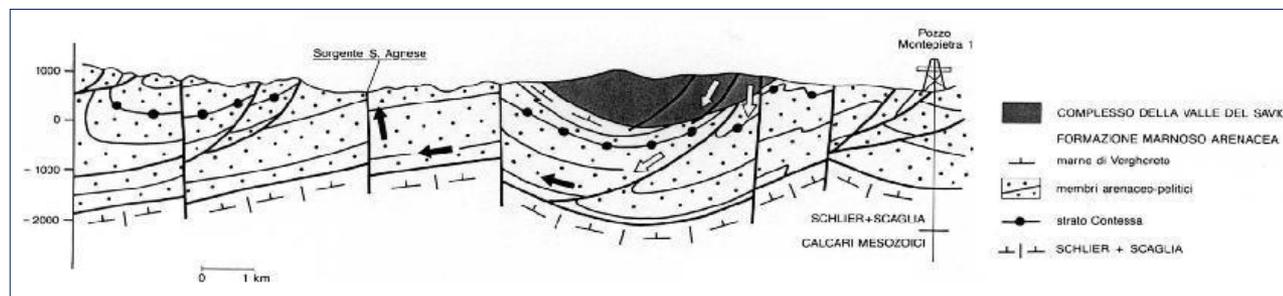


Sorgente termale Chiardovo  
Bagno di Romagna



### INTERVENTO

- *Impianto ibrido (geotermia/cogenerazione)*
- *Anno di realizzazione: '85*
- *Potenza pompe di calore geotermiche: 2,2 MW*
- *Circa 300 TEP/anno da fonte rinnovabile*
- *Risparmio emissione CO2 del 35% (sistema ibrido), pari a circa 420 ton/anno*



Geological section and hydrogeological path for the thermal groundwater  
(from "Progetto Finalizzato Energetica - CNR, Gorgoni et al. 1982)

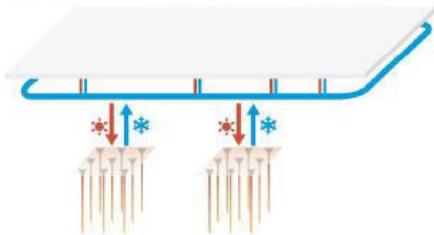
# Smart Thermal Grid

Innovazione e sviluppo di Geo Scambio Termico

## NETWORKING



## GEOHERMAL STORAGE



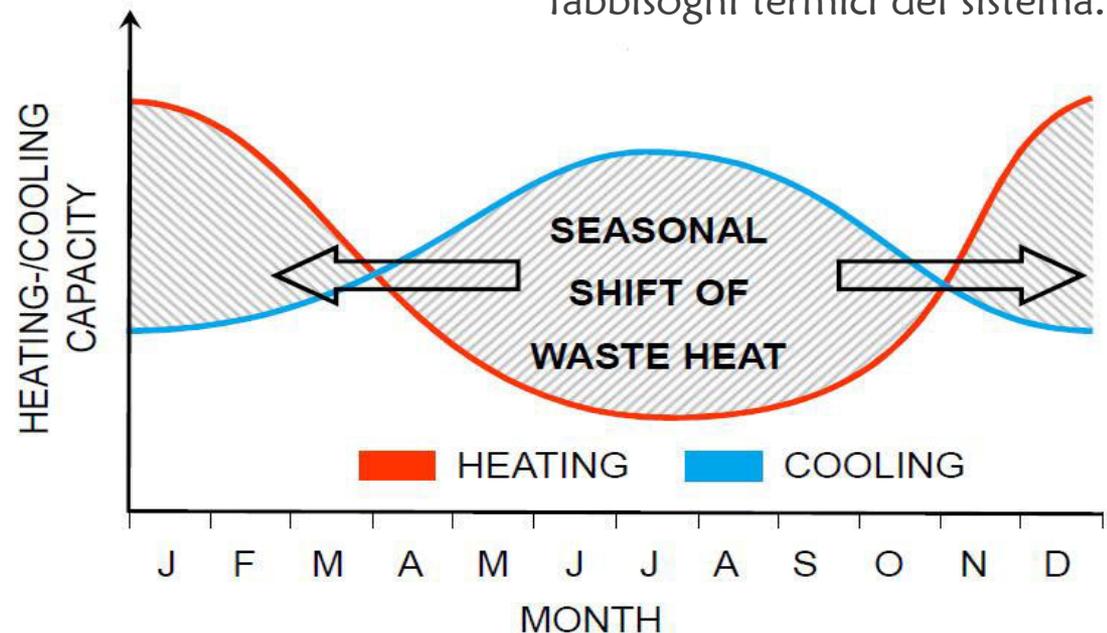
## REDUCTION OF PRIMARY ENERGY



REDUCTION CO<sub>2</sub>

Le nuove frontiere dei sistemi di climatizzazione riguardano i progetti di district heating/cooling.

Sistemi di «stoccaggio» di calore nel sottosuolo attraverso campi di sonde geotermiche che consentono di «shiftare» nel tempo i fabbisogni termici del sistema.

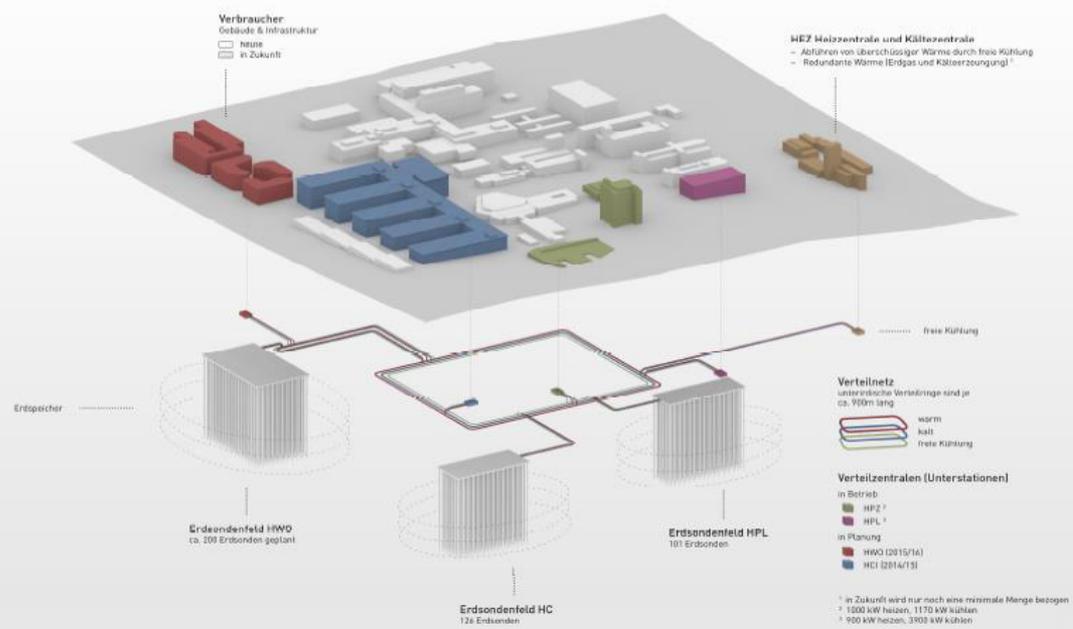


Si basano su audit energetici di sistema (grande scala) e sull'individuazione dei siti idonei allo stoccaggio di calore

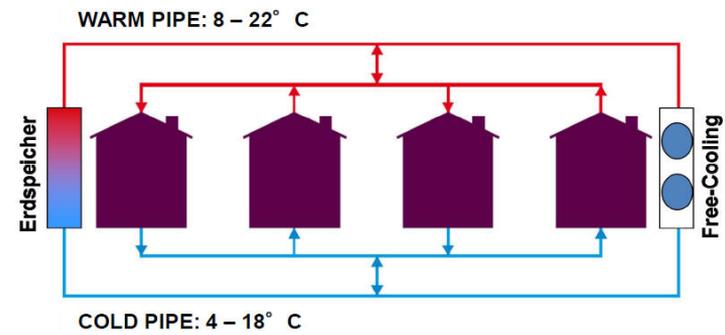
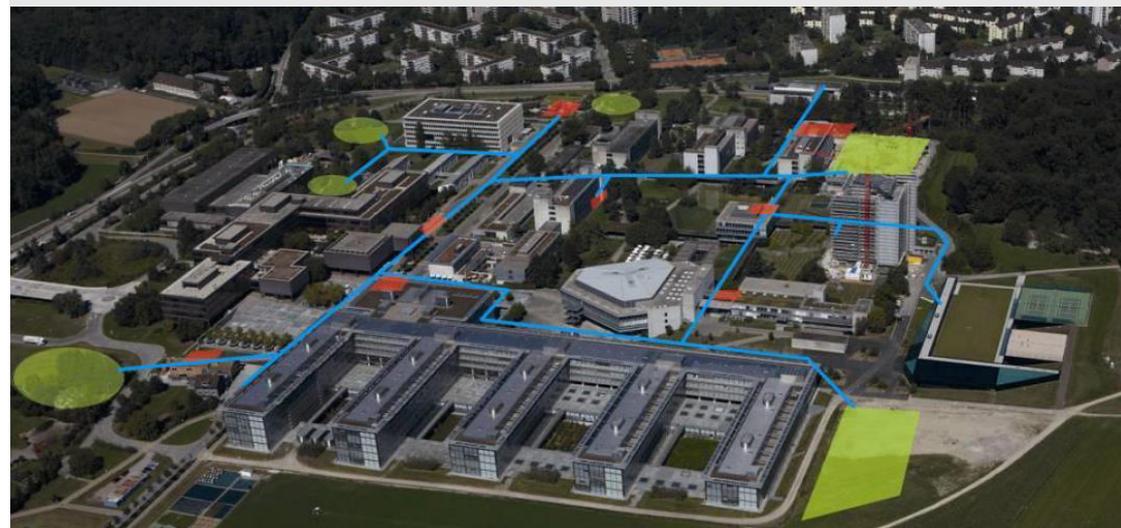
# Smart Thermal Grid

ETH Zurich, Campus Universitario

ETH Zurich, Campus Höggerberg  
Anergienetz



L'intervento in corso di realizzazione (37 M€ - payback 7 anni) consente di sostituire il teleriscaldamento con centrale di cogenerazione (concept superata) mediante due tubi «freddo» e «caldo» con cui scambiano calore i «cluster» attraverso pompe di calore e scambiatori locali.

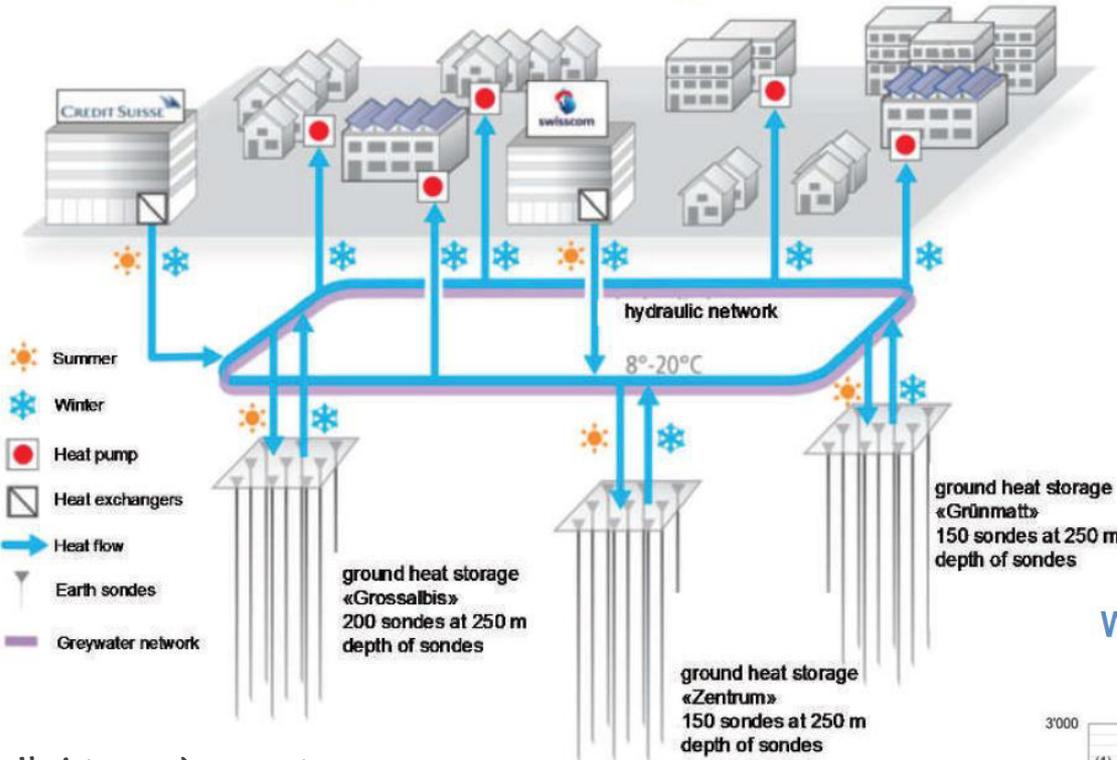


**CONTINUOUS HEATING AND COOLING EXCHANGE BETWEEN CLUSTERS**

# Smart Thermal Grid

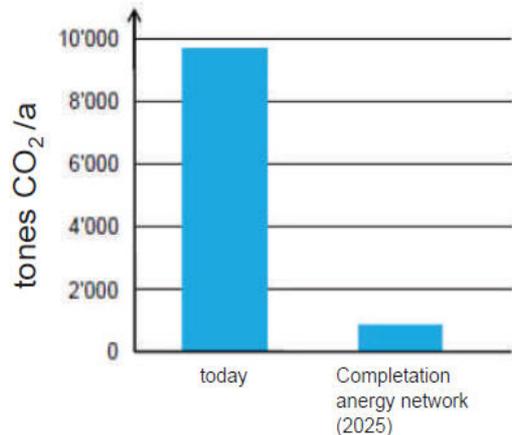
## FGZ Zurich, «anergy network»

### Schematic diagram FGZ - anergy network

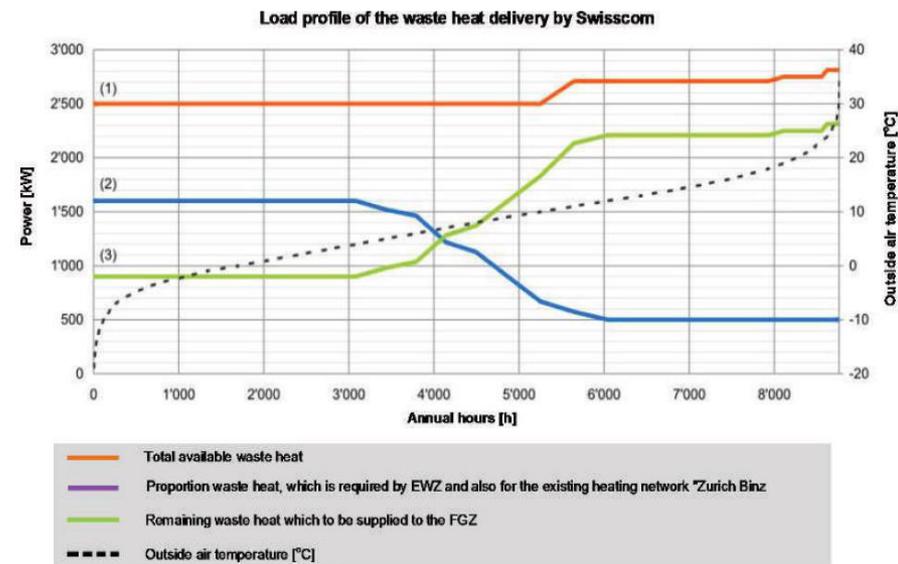


Il concept dell'intervento parte dalla necessità di Swisscom di smaltire una notevole quantità di calore nei mesi estivi. Attraverso campi sonde geotermiche dislocate nella città di Zurigo questo calore è stoccato nel sottosuolo e reso disponibile alle abitazioni che decidono liberamente di allacciarsi alla rete. Attualmente anche Credit Swiss sta valutando di immettere in rete il proprio calore in eccesso.

Il sistema è pensato con una durata di vita pari a cento anni, ed il successo della rete è assicurato dalle decisioni «razionali» di riqualificazione degli edifici, quando questi non sono più in grado di avere gli standard minimi energetici e statici.

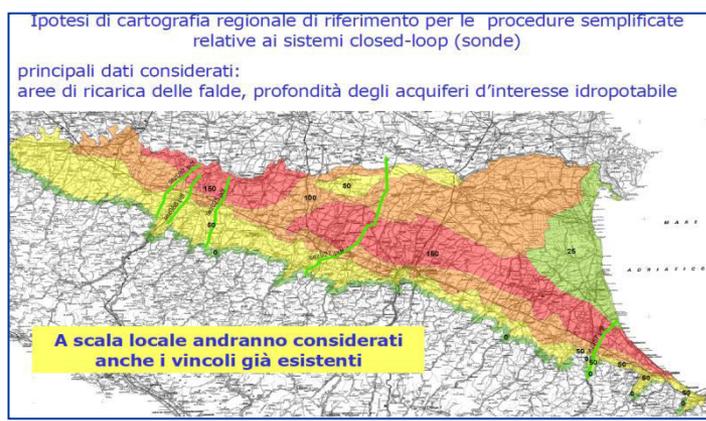
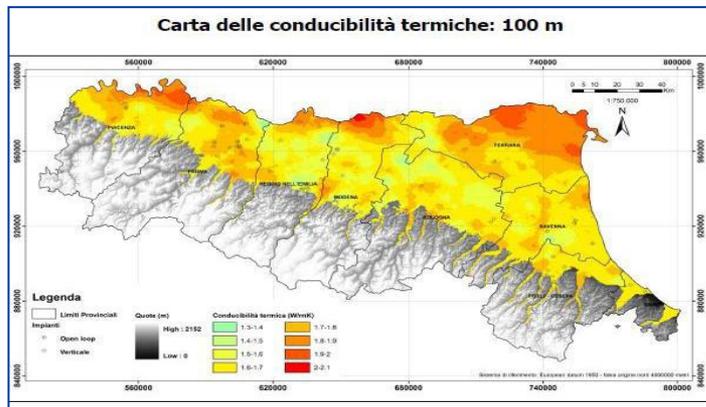


### Waste heat delivery by Swisscom



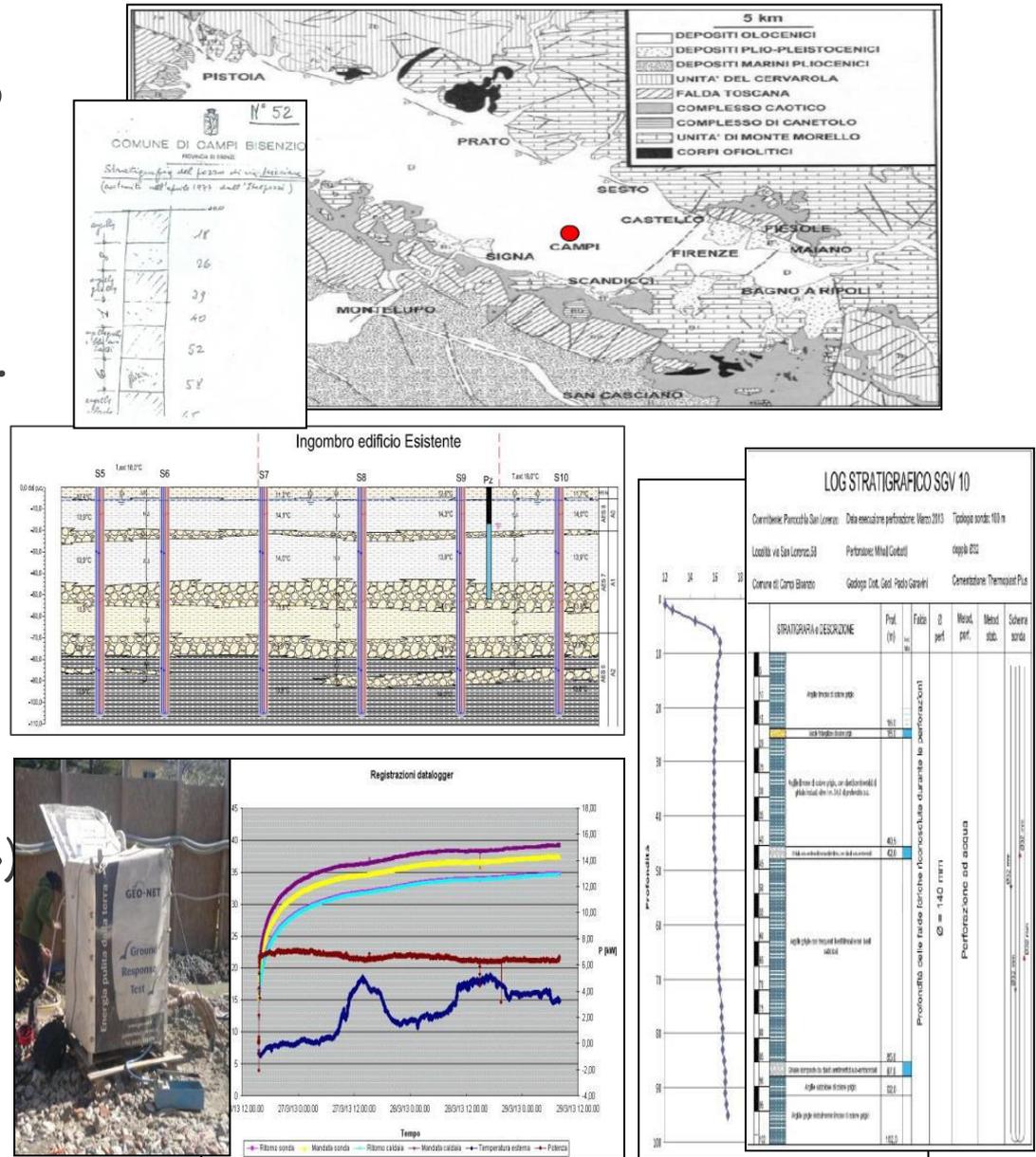
# Pianificazione energetica sostenibile (PAES)

- Risorse del territorio/sottosuolo: materie prime, risorse idriche, risorse energetiche, beni culturali e paesaggistici ecc...
- Uso sostenibile delle risorse: in genere le risorse del sottosuolo sono relativamente costanti e permanenti in un tempo «storico», a condizione che l'utilizzo di tale risorse sia razionale e compatibile
- Rischi territoriali: ogni territorio è caratterizzato intrinsecamente da vari elementi di rischio naturale (rischio sismico, idrogeologico, idraulico, ecc...)
- Applicazioni energetiche e rischi territoriali: per definire «sostenibile» un'azione energetica o un progetto di impianto (qualunque esso sia) occorre considerare il contesto territoriale di riferimento;
- Un adeguato sviluppo sostenibile in campo energetico passa dalla pianificazione. I PAES possono essere utili strumenti, purchè considerino le caratteristiche intrinseche del territorio (risorse e rischi)



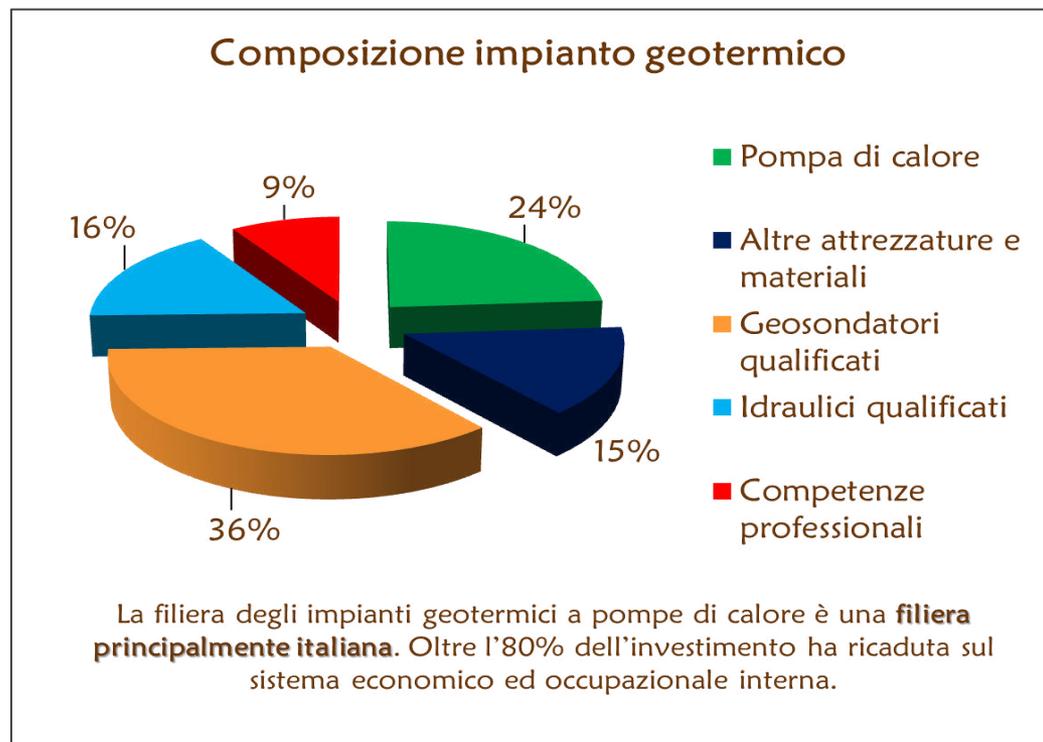
# Progettazione sistemi di Geo Scambio Termico

- Indagini termiche sul terreno (Test di Risposta Termica TRT o GRT; misure termofreatimetriche ecc...)
- Modello geologico ed idrogeologico di riferimento. Caratterizzazione termica
- Definizione della tecnologia di scambio più adeguata
- Analisi dei rischi e valutazione impatti ambientali potenziali
- Dimensionamento del geoscambiatore (campo sonde o sistema «open loop»)
- Direzione lavori di perforazione, installazione e cementazione sonde;
- Verifiche e collaudi



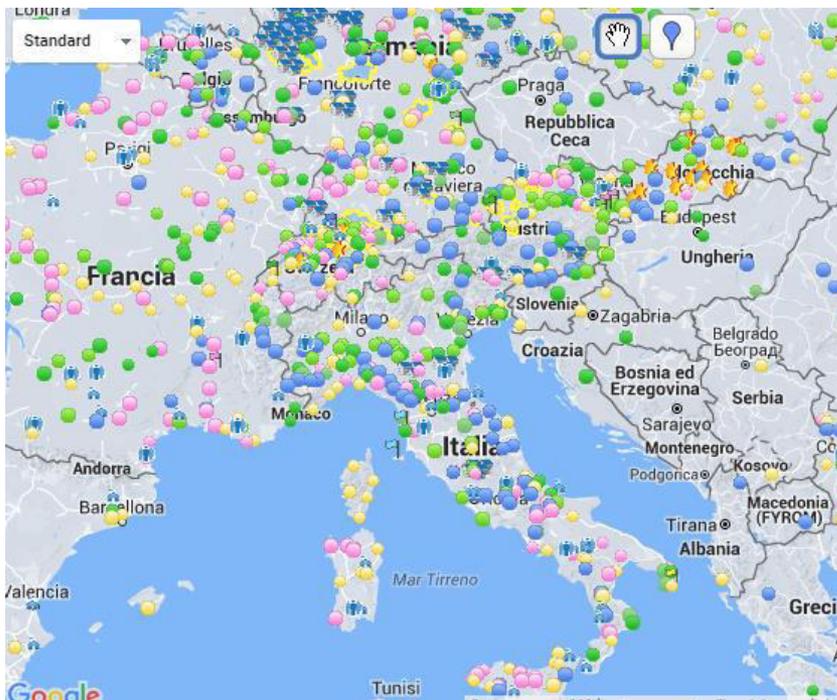
# Una tecnologia da sviluppare

- **semplice:** sfrutta la proprietà del sottosuolo di essere ad una temperatura costante (12÷18 °C), sotto i primi metri di profondità (5-10m), per tutto l'anno;
- **diffusa:** è applicabile praticamente ovunque e non è necessario avere gradienti geotermici anomali (come ad es. le aree termali), requisito invece necessario per realizzare impianti geotermici ad alta e media entalpia per la produzione di energia elettrica;
- **flessibile:** la taglia media degli impianti con pompa di calore è di 10-20 kWt, quindi piccoli impianti, ma si possono realizzare sistemi di alcuni MWt di potenza. Si parla quindi di un modello di sviluppo che prevede impianti diffusi sul territorio, con alto grado di efficienza e privi di emissioni di CO<sub>2</sub> in loco;
- **sicura:** non ci sono rischi di perdite di monossido di carbonio o di fuoriuscita di gas; è possibile avere edifici «gas free»;
- **affidabile:** tecnologia molto diffusa in paesi nord e mitteleuropei i quali, tra l'altro, hanno delle condizioni climatiche meno favorevoli alla realizzazione di questo tipo di impianti (solo riscaldamento);
- **confortevole:** bassa manutenzione; unico impianto per caldo-freddo-ACS; riduzione della dipendenza energetica;
- **italiana:** tecnologia «molto italiana» sia come produttori (pompe di calore in particolare) che come installatori: lo sviluppo di questa tecnologia avrà un forte impatto positivo in termini occupazionali



Secondo il report R-93-004 EPA (Ente per la Protezione Ambientale statunitense), la geotermia con pompe di calore oggi sul mercato è il sistema di riscaldamento e di condizionamento più efficiente dal punto di vista energetico e più sostenibile dal punto di vista ambientale

## Progetto EU «Repowermap»: censimento impianti FER



Impianti FV, eolico, idroel.

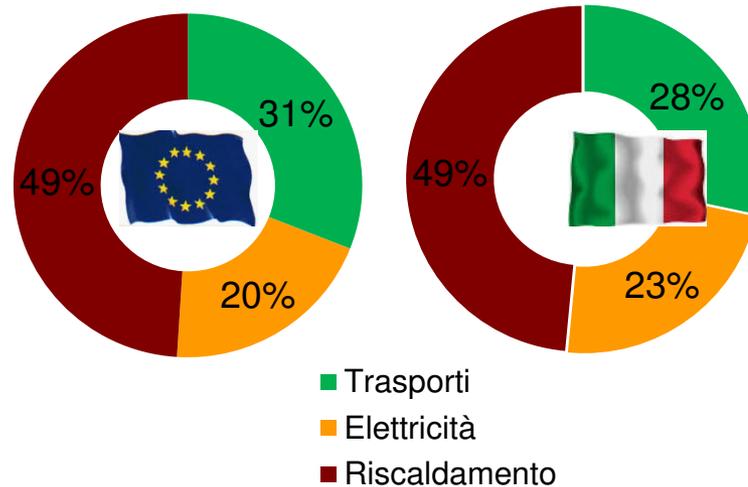


Impianti con pompe di calore geotermiche

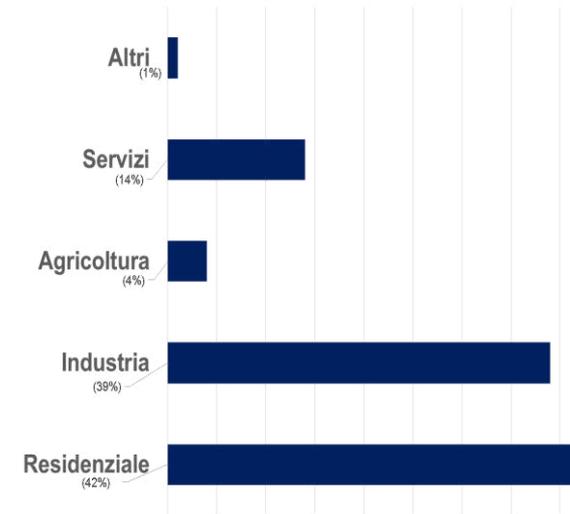
Circa il 50% del fabbisogno totale di energia dei 25 paesi UE è rappresentata dalla climatizzazione degli edifici.

Anche per l'Italia i consumi termici rappresentano circa la metà del fabbisogno energetico, stimato per il 2014 pari a 141 Mtoe o Mtep (dati PAN).

Ripartizione fabbisogni energetici



Riscaldamento



Il primo settore su cui agire è quello dell'energia termica (il «gigante dimenticato»). Nel 2013 in Italia le Fonti Rinnovabili coprono meno del 18% dei fabbisogni termici, oltre il 31% dei fabbisogni elettrici (ora circa 38%) ed il 5% dei trasporti. L'obiettivo del 17% complessivo di FER è stato raggiunto con incentivi FV e conto elettrico, con poca ricaduta sul PIL interno.



1. **Ecobonus – detrazione del 65%**: detrazione in 10 anni del 65% dei costi per sostituzione impianti di climatizzazione con sistemi geotermici a pompe di calore;
2. **Conto Energia Termico 2.0**: appena pubblicato in Gazzetta Ufficiale. Incentivi su specifici interventi. Per Pubbliche Amministrazioni 65% di CONTRIBUTO per conversione di «edifici ad energia quasi zero»
3. **Certificati bianchi**: titoli riconosciuti dallo Stato per interventi di efficientamento energetico, tra cui l'installazione di pompe di calore geotermiche;
4. **Tariffe elettriche agevolate**: tariffe BTA e D1. Riduzione delle accise e delle aliquote IVA per alimentazione di pompe di calore;
5. **Energy Service Company (ESCO)**: società che effettuano interventi finalizzati a migliorare l'efficienza energetica, anche su edifici non di proprietà. Investimento a carico della ESCO, risparmi suddivisi con il Cliente finale;

### **Cosa manca per un adeguato sviluppo del geotermico (climatizzazione)?**

Quadro normativo nazionale/regionale; pianificazione e strategia energetica coerente al territorio; adeguate conoscenze e competenze; maggiore propensione all'innovazione; approccio razionale ai progetti; minore ricerca di un profitto immediato



Gruppo di lavoro Assetto Territorio -  
Area tematica AMBIENTE



Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
CHIMICA AMBIENTALE E DEI MATERIALI

con il patrocinio del Dipartimento DICAM  
Università degli Studi di Bologna

Con la collaborazione della Direzione Mineraria delle TERME DI PORRETTA

## CONVEGNO

# I nostri primi 10 anni L'attualità del magistero del Prof. Fulvio Ciancabilla a dieci anni dalla scomparsa

venerdì 18 Marzo 2016 - Bologna

Aula Magna Scuola di Ingegneria e Architettura, Viale Risorgimento 2

***GRAZIE PER L'ATTENZIONE***

*Gabriele Cesari geologo*  
*[g.cesari@geo-net.it](mailto:g.cesari@geo-net.it)*