

Ottimizzazione impianti di geoscambio

Paolo CONTI, Ph.D

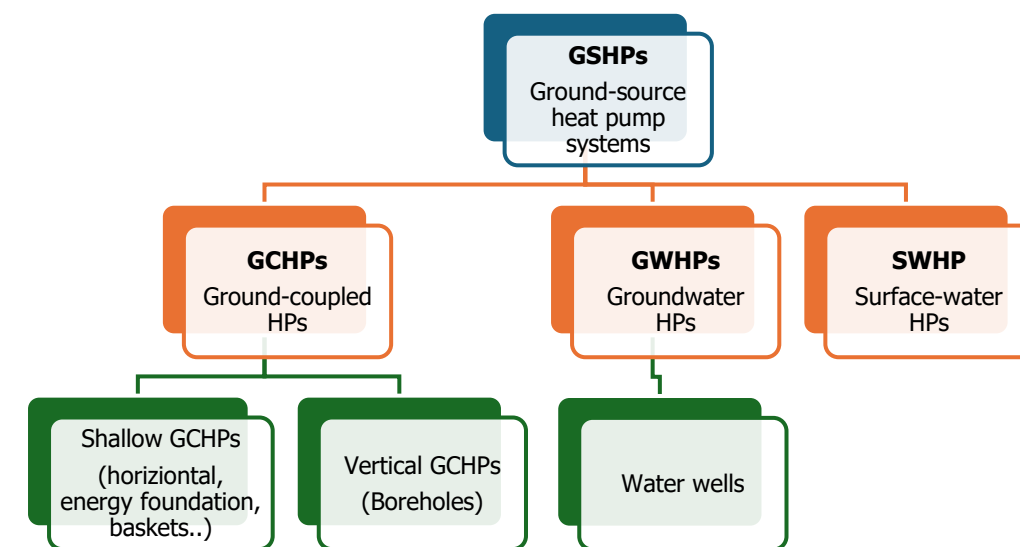
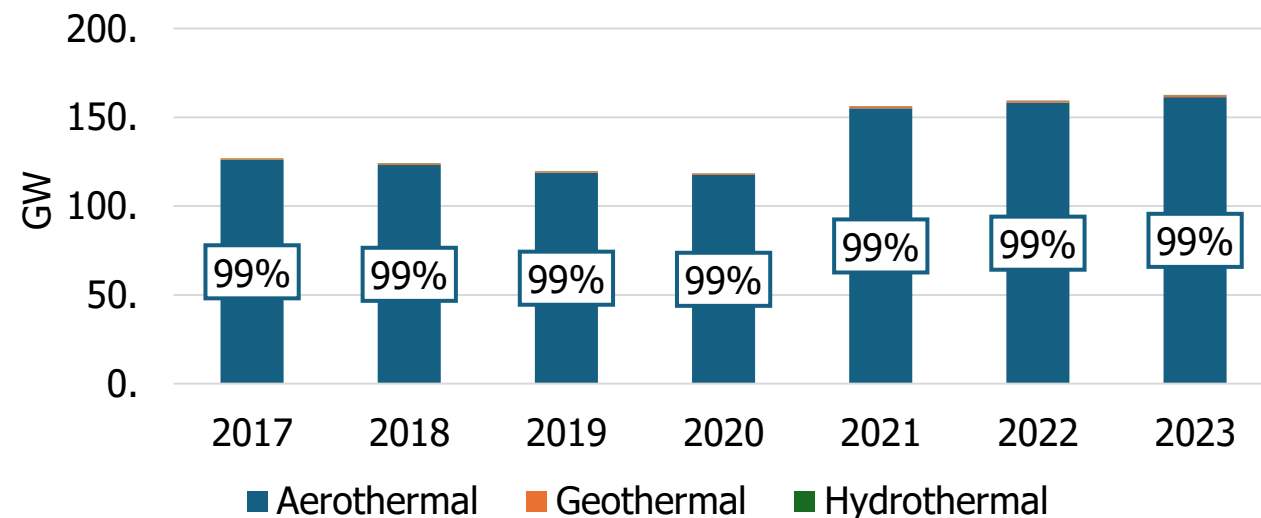
Energy Engineer

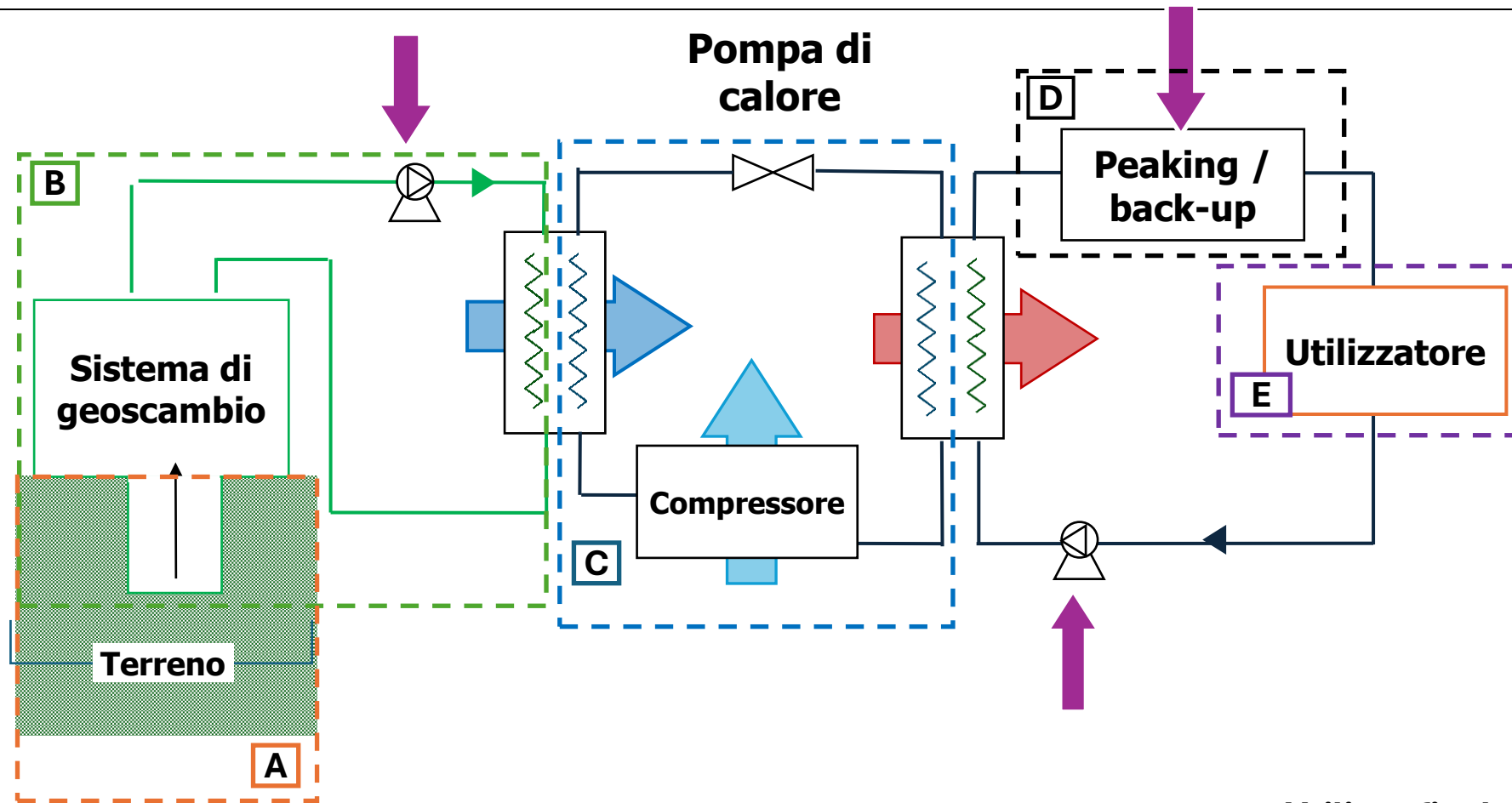
University of Pisa – DESTEC



- ✓ **Le pompe di calore accoppiate al terreno (GSHP) offrono grandi potenzialità energetiche, ambientali ed economiche, ma la loro diffusione è ancora limitata da:**
 - Lavori, costi e spazi significativi rispetto a tecnologie «competitor»
 - Adeguamento degli edifici e impianti esistenti (es. edifici «vecchi»)
 - Scarsa consapevolezza tra utenti
 - Necessità di competenze specialistiche per progettazione e installazione
 - Procedure autorizzative complesse e spesso non uniformi
- ✓ **È quindi fondamentale un'ottimizzazione dell'intero sistema, dalla progettazione alla gestione, considerando:**
 - Una corretta caratterizzazione del sottosuolo
 - I servizi richiesti: riscaldamento, raffrescamento, ACS, calore di processo, accumulo termico, power-to-heat, demand-response...
 - La valutazione dell'entità e della dinamica della domanda termica (quanto e quando)
 - Il bilanciamento tra carichi termici e risposta del terreno
 - Un dimensionamento adeguato del campo sonde
 - L'integrazione con altre tecnologie (es. fotovoltaico, accumuli, booster)
 - L'analisi costi-benefici rispetto al contesto applicativo

GSHP: potenza installata per tipologia di sorgente in Italia(EUROSTAT)



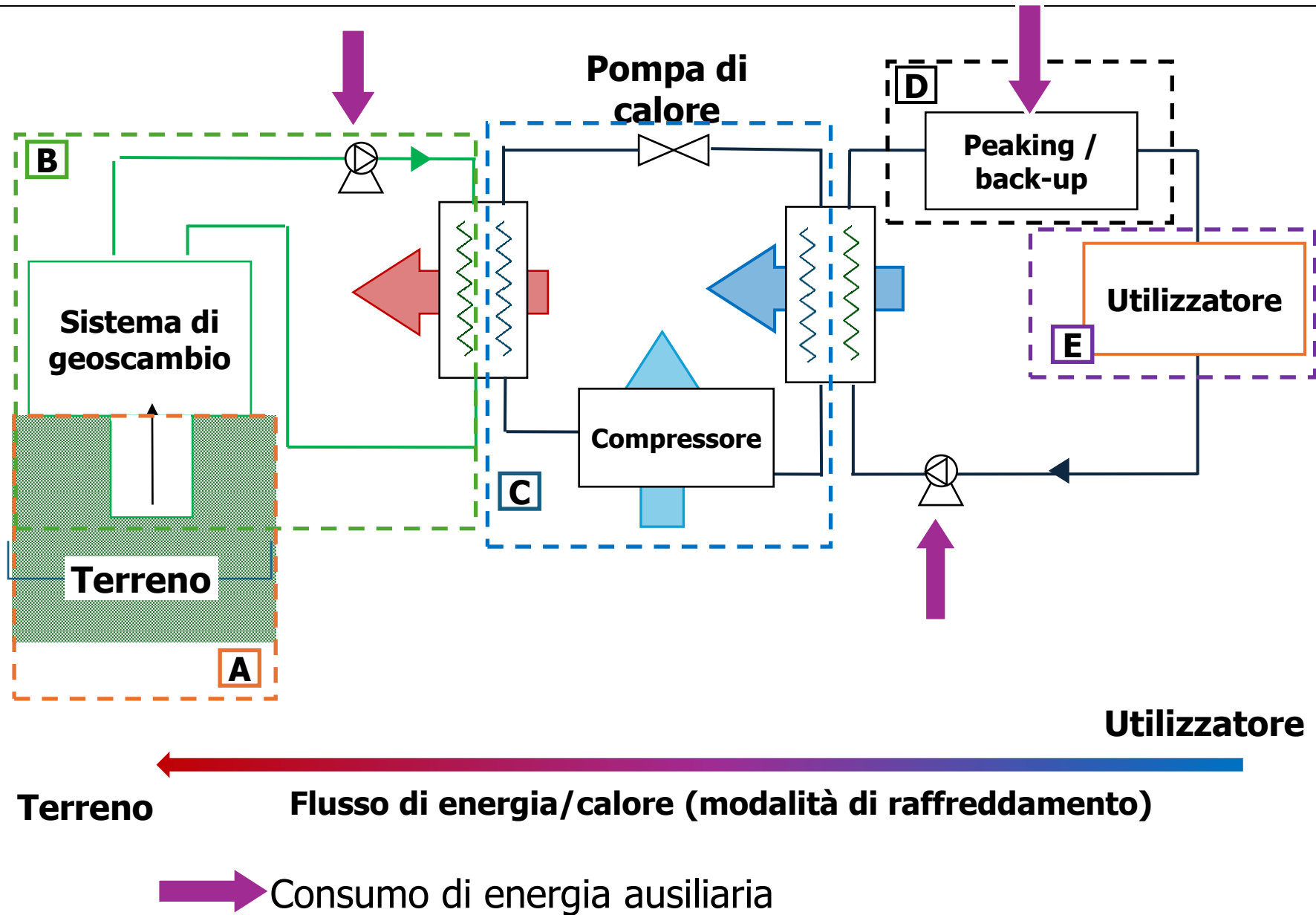


I sistemi GSHP sono **sistemi complessi** costituiti da **diversi sottosistemi**, ognuno con caratteristiche e dinamiche specifiche:

- A. Terreno (sorgente/accumulo)
- B. Apparato di geoscambio (sonde o pozzi d'acqua)
- C. Unità pompa di calore
- D. Generatore di backup/integrazione
- E. Sistema utilizzatore finale

- I diversi sottosistemi **interagiscono, influenzandosi a vicenda**
- Tutti i sottosistemi sono ugualmente importanti per il dimensionamento e il funzionamento corretti/ottimali dell'intero sistema energetico.





I sistemi GSHP sono adatti per la «produzione» di «caldo» e di «freddo»

Il **terreno** può essere considerato come una **fonte**, ma anche come un **accumulo**:

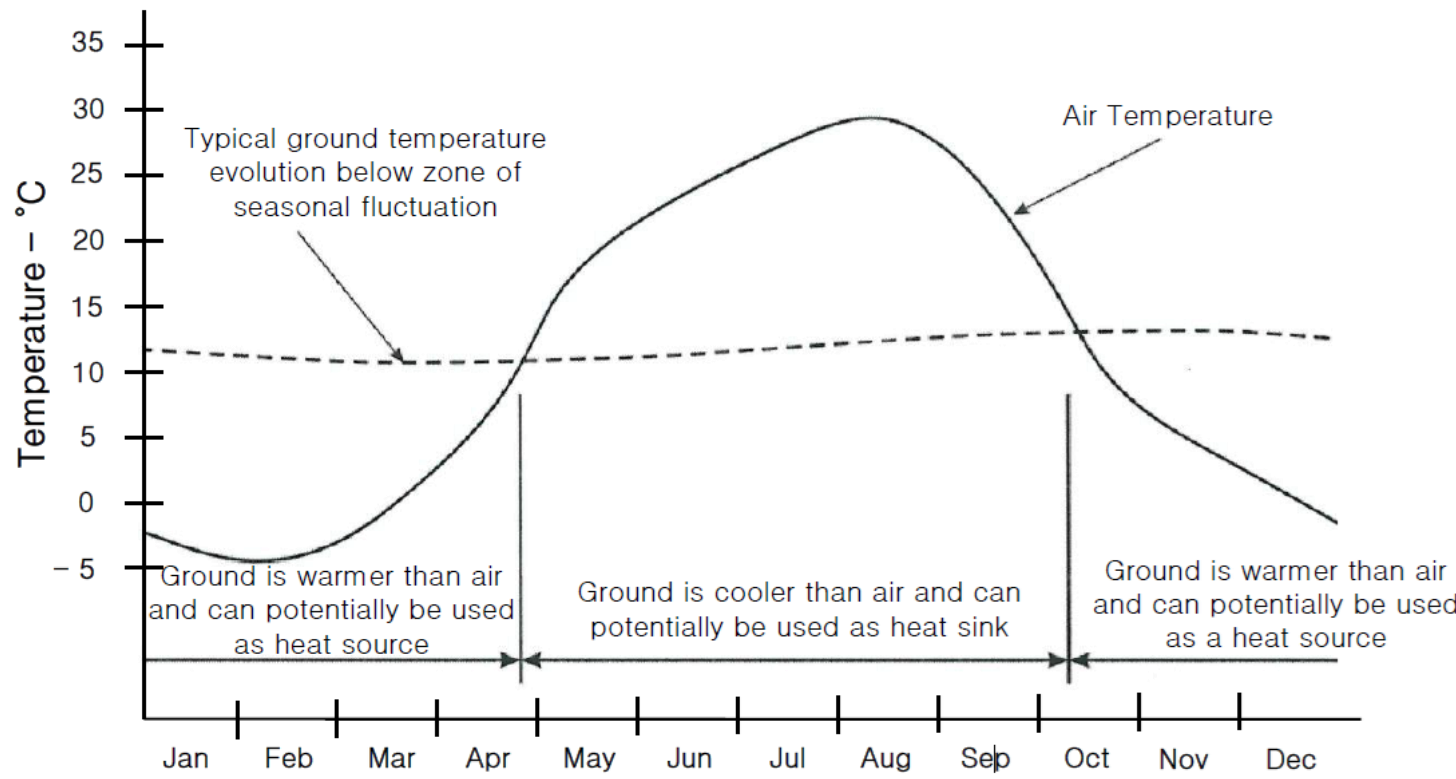
- Funzionamento in riscaldamento: **"estraiamo" energia dal terreno**
- Funzionamento di raffreddamento: **"iniettiamo" energia nel terreno**

Una corretta progettazione e gestione del progetto per garantire le prestazioni, la fattibilità e la sostenibilità delle fonti geografiche

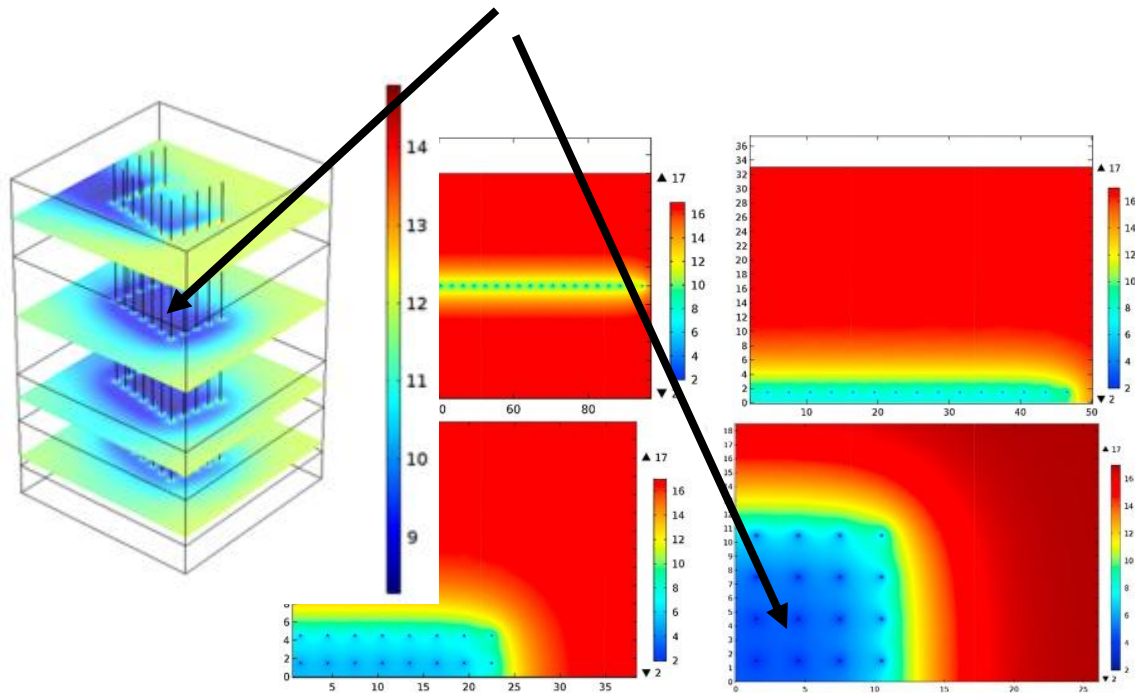
In qualsiasi modalità di funzionamento, **l'obiettivo energetico finale è ridurre il consumo di energia del compressore/assorbitore e dell'energia ausiliaria**



Temperatura del terreno indisturbata vs aria



Alterazione termica



- Come dimesnionare e controllare lo scambio termico in maniera ottimale?



**Metodologia «classica» di
progettazione campo sonde**
Kavanaugh e Rafferty, UNI 11466

**Simulazione &
ottimizzazione dinamica**

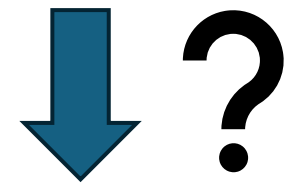
Approccio standardizzato

Il sistema viene analizzato **in condizioni di riferimento**
«**cautelative**» per essere sicuro che funzioni regolarmente in
condizioni operative

Approccio simulation-driven design e cost-benefit analyses

Si utilizzano **modelli dinamici analitici e numerici** per descrivere
ciò che accade durante la vita operativa

- Entrambe le metodologie sono valide, sebbene con diverso livello di complessità e accuratezza.



- **Come scegliere la taglia di riferimento e la percentuale di carico ottimali da assegnare al sistema GSHP??**



Metodologie avanzate di dimensionamento

✓ Qual è l'obiettivo finale?

- Individuare soluzione impiantistica vantaggiosa rispetto alle tecnologie attualmente disponibili
- Conseguire risparmi energetici e economici congrui all'investimento iniziale
- Minimizzare il rapporto costi-benefici (energia/economia) del sistema globale (GSHP & Integrazione)
- Determinare la frazione ottimale del carico termico da soddisfare con il sistema GSHP

✓ Quali sono le principali variabili di dimensionamento?

- Taglia e tipologia dei generatori e dimensionamento sonde
- Strategia di controllo durante il periodo operativo

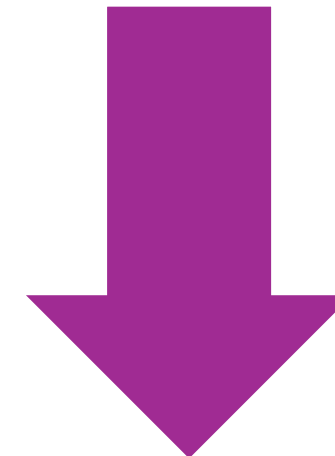
✓ A cosa bisogna prestare particolare attenzione nella progettazione dei sistemi GSHP?

- Sotto- o Sovra-dimensionamento
- Errata gestione del sistema durante il funzionamento



Sovradimensionamento

Mancato «bilanciamento» tra investimento iniziale e risparmi operativi.



Sottodimensionamento

Potenziale non utilizzato di risparmio energetico, ambientale e economico



Software	Sviluppatore / Origine	Caratteristiche principali	Analisi
BHEDesigner 8	Università di Genova	Web-app gratuita, algoritmo ASHRAE/Tp8, interfaccia semplice	Campo sonde
EED (Earth Energy Designer)	University of Lund (Svezia)	Standard internazionale, simulazioni termiche annuali	Campo sonde
GLHEPro	Oklahoma State University	Simulazioni annuali dettagliate, ottimizzazione avanzata	Campo sonde + pompa di calore
GeoT*SOL	Valentin Software (Germania)	Dimensionamento integrato solare-termico-geotermico	Sistema completo
TRT Designer	Geowatt AG	Analisi dei test di risposta termica (TRT)	Campo sonde
LoopLink™ RLC	Interneering (USA)	Tool online, calcolo campo sonde, carichi termici semplificati	Campo sonde
Feflow + GeoHP	DHI-WASY	Modellazione 3D avanzata FEM di terreno e sistemi integrati	Sistema completo
Pygfunction	Comunità open-source (Python)	Analisi g-function, personalizzabile via script	Campo sonde
GHEtool	Enead BV / KU Leuven / Sweco	Open-source (desktop e cloud), calcolo automatico, personalizzabile	Campo sonde
....

Le variabili progettuali possono essere **ottimizzate in funzione delle prestazioni operative dell'intero sistema** durante tutto il **periodo di vita**

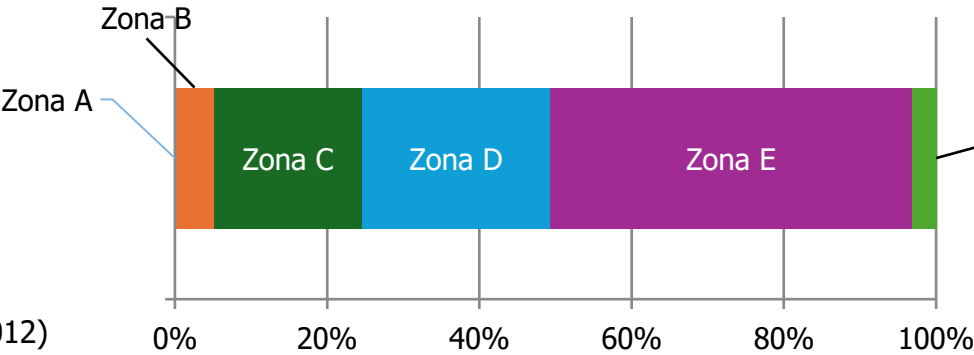


Parco edilizio italiano

		Edifici (Milioni)	Unità abitative	Superficie (Mm2)
Privato	Residenziale	12.42	35.27	3 535
	Altro (Uffici, commercio, alberghi)	0.34	-	528
Pubblico	Uffici, Strutture sanitarie, Scuole...	0.77	-	267

Abitazioni in edifici multi-familiari/condomini	Case unifamiliari	Altri
57%	30%	13%

Distribuzione abitazioni per zona climatica (numero)



Principali fonti:
ISTAT - ENEA
EU Building Observatory
IEE Project TABULA (2009 - 2012)
UNI/TR 11552:2014
Technical reports on the building sectors (es. ENEA)

Edifici/abitazioni di riferimento



Appartamento in condominio con impianto H&C autonomo



Condominio con impianto H&C centralizzato (12 abitazioni, 4 piani)



Case unifamiliari



Case unifamiliari «riqualificate»



Simulazione energetica integrata: carichi termici degli edifici

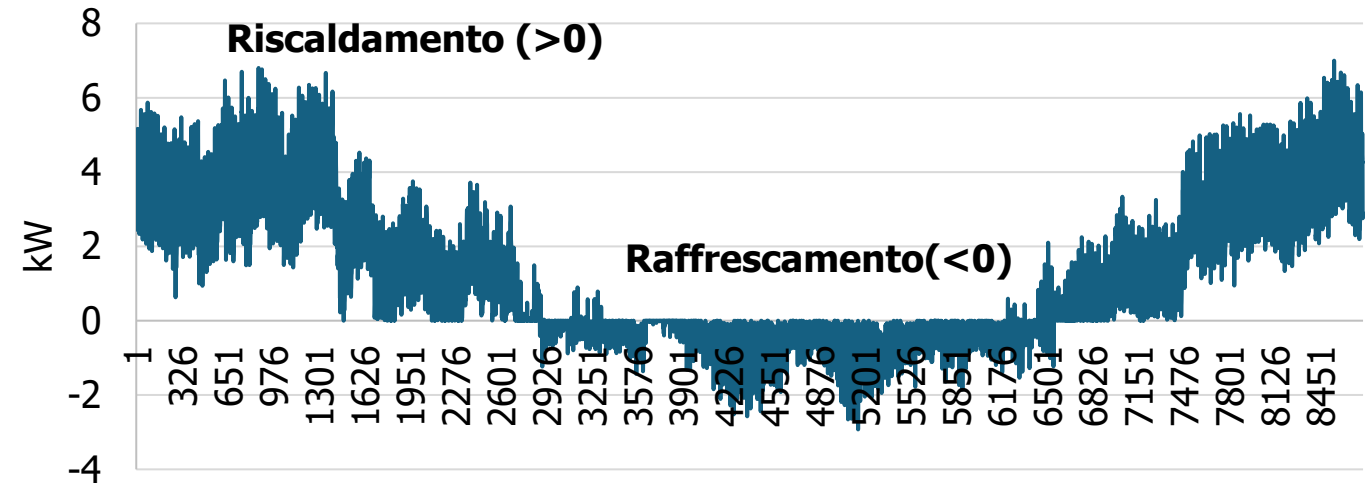
Villetta – Zona E

- **Circuito chiuso**, singola U, distanza 10 m
- Circuito utilizzatore:
 - RISC: compensazione climatica (60 °C – 45 °C)
 - RAFF: punto fisso (7°C)
- **Backup:** caldaia a condensazione e chiller aria-aria elettrico
- **Periodo di analisi:** 15 anni

Variabili da ottimizzare:

- ✓ Taglia sistema GSHP
- ✓ Numero di sonde

Carico di riscaldamento e raffrescamento
(compresa la deumidificazione)



Case unifamiliari



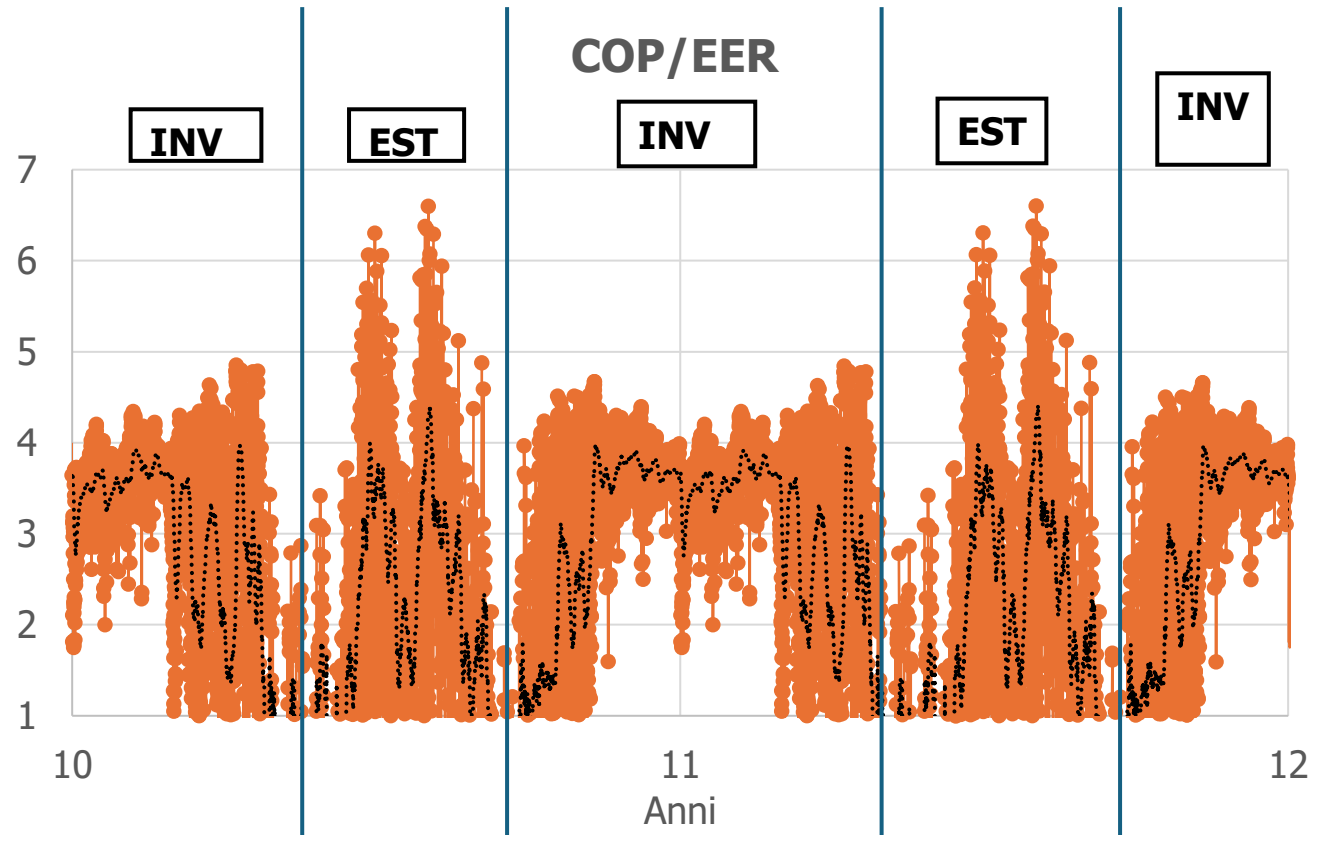
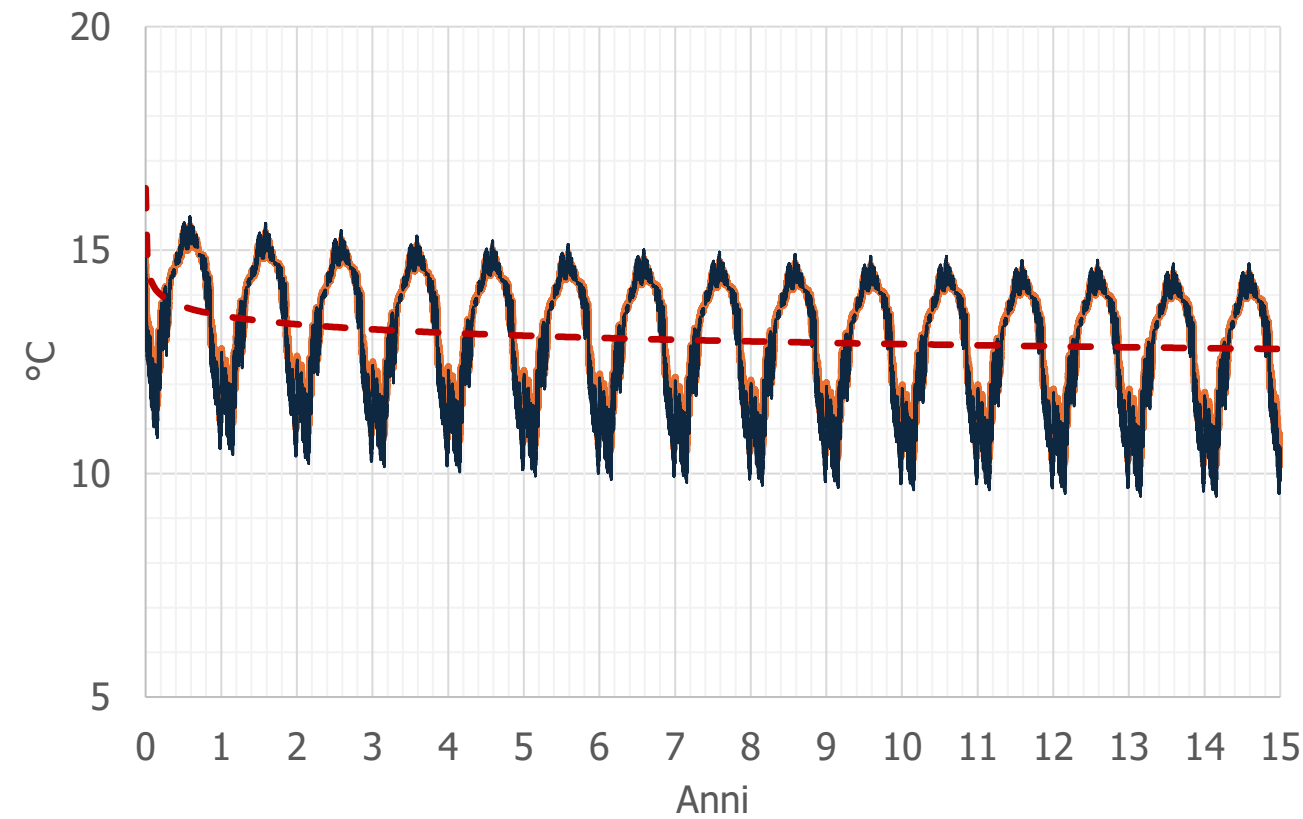
Case unifamiliari
«riqualificate»





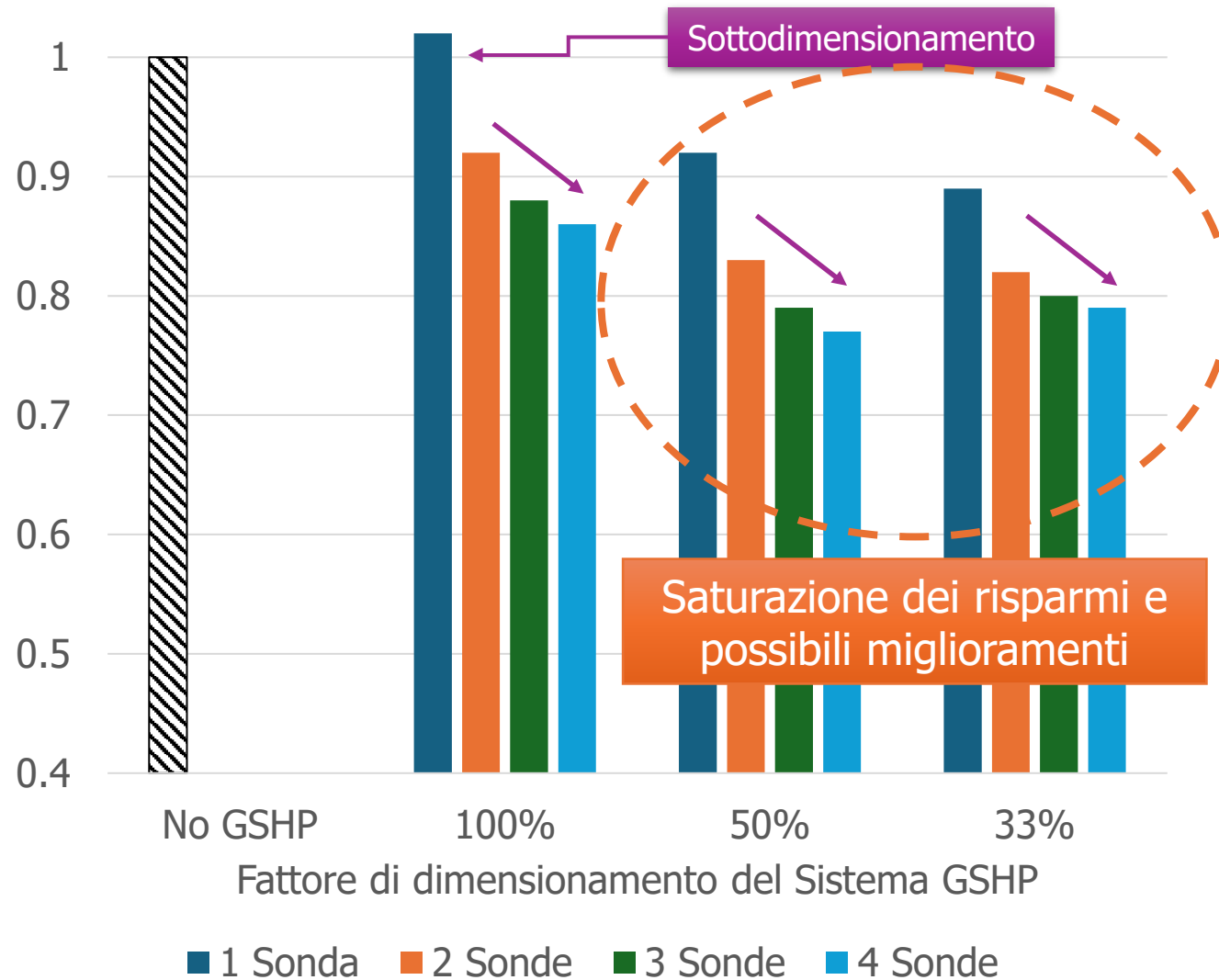
Simulazione energetica integrata: pompa di calore e regolazione climatica

Andamento temperature terreno e sonde





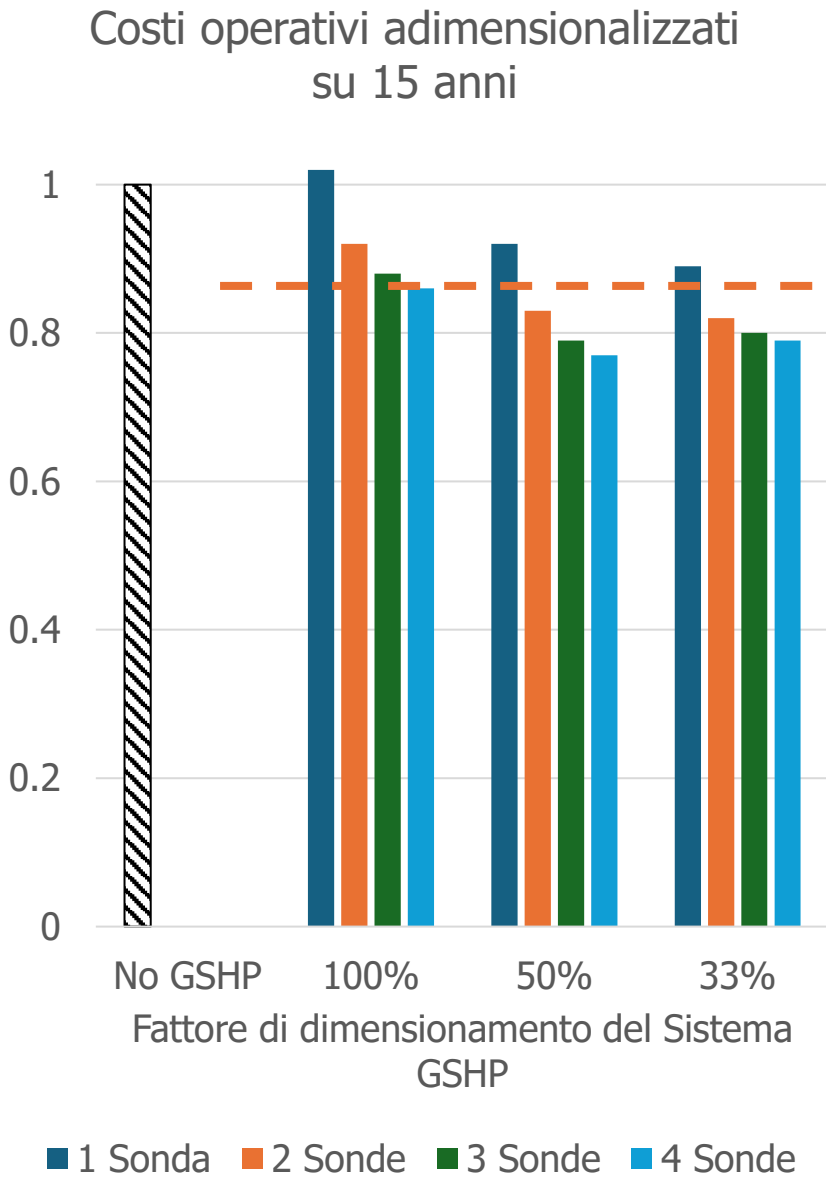
Costi operativi adimensionalizzati su 15 anni



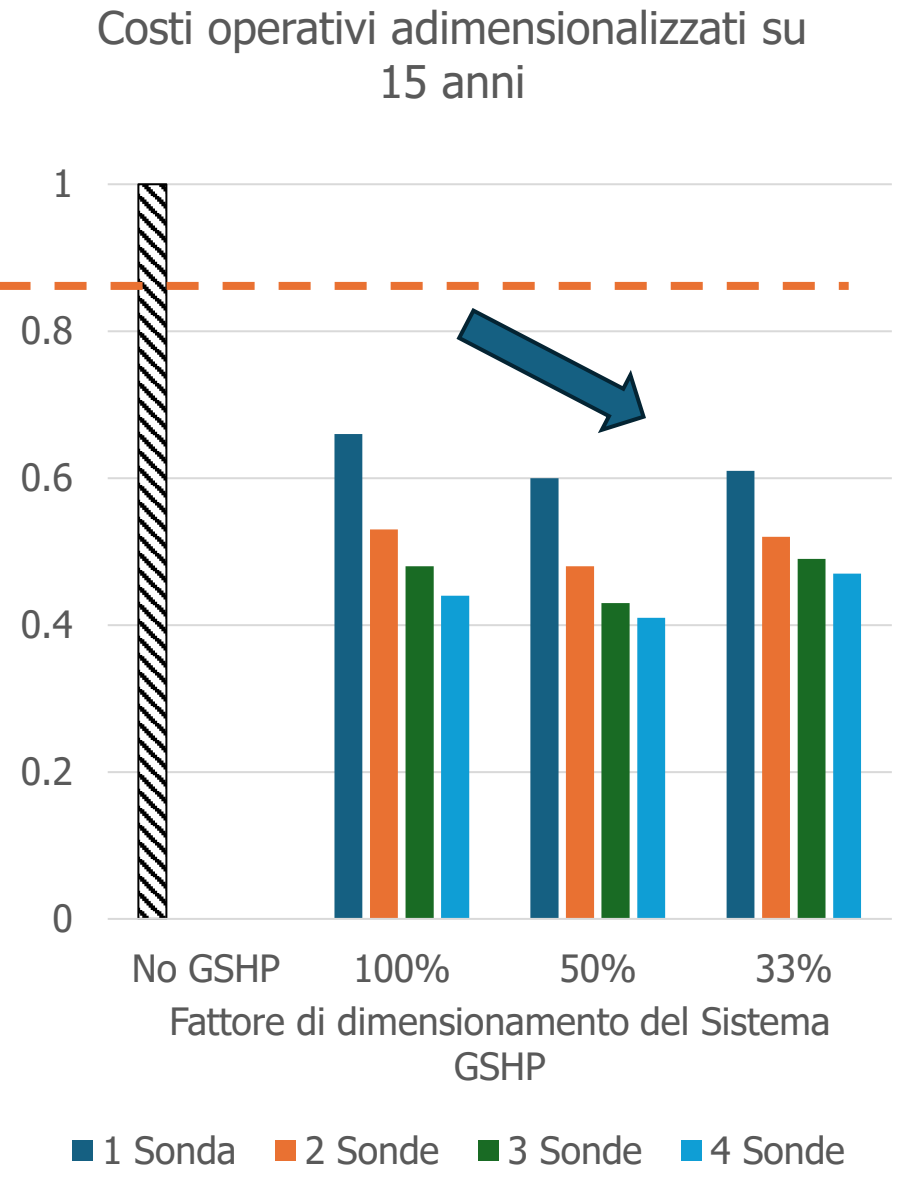
Commenti principali alle prestazioni globali:

- ✓ Aumentare numero e dimensioni sonde **migliora le prestazioni del sistema**
- ✓ Con dimensionamento opportuno, COP stagionali **>4.5 in inverno e >6 in estate (vantaggi energetici e ambientali)**
- ✓ Si assiste ad una saturazione in quanto con molte sonde l'alterazione termica del terreno è trascurabile.
- ✓ Anche **il sistema più piccolo (33%) riesce a soddisfare l'84% del carico di riscaldamento e la totalità di quello di raffrescamento**
- ✓ È possibile trovare **un dimensionamento e controllo ottimale** che **con prestazioni simili** richiede investimenti minori aumentando l'attrattività del sistema





Ottimizzazione integrata di GSHP + sistema di utilizzazione termica (es. pannelli radianti o controllo di impianto)





Concludendo, le GSHP...

- ✓ Hanno un **potenziale energetico ed ambientale** di riduzione delle emissioni di CO₂ fino al **70–80% rispetto a soluzioni tradizionali** (es. caldaie)
- ✓ La loro diffusione è ancora ostacolata dagli elevati costi di installazione rispetto al costo del kWh utile, spazi necessari, limitata consapevolezza di utenti e operatori
- ✓ Devono **essere ottimizzate in termini di dimensionamento, gestione e integrazione** con altri sistemi energetici (ibridi) per trovare la **giusta sinergia tra spesa iniziale e risparmi energetici** (ad esempio, sistemi ibridi GSHP + solare)
- ✓ E' possibile utilizzare **modelli e tool di simulazione dinamica** per **l'analisi delle prestazioni di tutto il sistema GSHP (dal terreno al carico termico finale)** individuando i punti critici e i margini di ottimizzazione delle prestazioni globali
- ✓ La **riqualificazione e l'efficientamento energetico** (es. terminali a basse temperatura) **contribuisce alla competitività globale dei sistemi GSHP**
- ✓ Rappresentano una naturale tecnologia per strategie avanzate di controllo finalizzate al **Power-to-Heat e Demand Response** grazie alla possibilità di utilizzare il sottosuolo come accumulo energetico



Ottimizzazione impianti di geoscambio

Paolo CONTI, Ph.D

Energy Engineer

University of Pisa – DESTEC



Cross section of a double-U BHE

Cross section of a single-U BHE

Ducts

Grout

Scambiatori di calore verticali accoppiati al terreno

Scambiatori di calore orizzontali accoppiati al terreno

Canestri / Shallow helix

Pali energetici e fondazioni termoattive

COOLED/HEATED AIR TO FACILITY

SURFACE STORAGE TANK

HEAT PUMP

RETURN WELL

WATER TABLE

WELL SCREEN

GROUND

Pozzi d'acqua (ciclo – aperto)