

# Il progetto POR-FESR HEGOS analisi LCA di una nuova pompa di calore per l'Harvesting EnerGeticO in Smart buildings

**Ing. Simona Marinelli**

in collaborazione con

Prof. ssa B. Rimini (DISMI – Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria, UniMoRe)

# Il progetto HEGOS



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



## OBIETTIVO

Studio di impianti di climatizzazione innovativi **multisorgente**



## ATTIVITA'

- SVILUPPO SPERIMENTALE: realizzazione di un impianto pilota
- RICERCA INDUSTRIALE: ottimizzazione dei componenti



## AZIONI

- Coordinamento e gestione
- **Kit di trasformazione *dual-source***
- **Pompa di calore *dual-source***
- Monitoraggio e controllo
- **Analisi tecnica ambientale ed economica (OR4)**
- Diffusione e disseminazione risultati

Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale



Regione Emilia-Romagna



# Il progetto HEGOS

# HEGOS



## • PARTNER SCIENTIFICI



## • PARTNER INDUSTRIALI



Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale

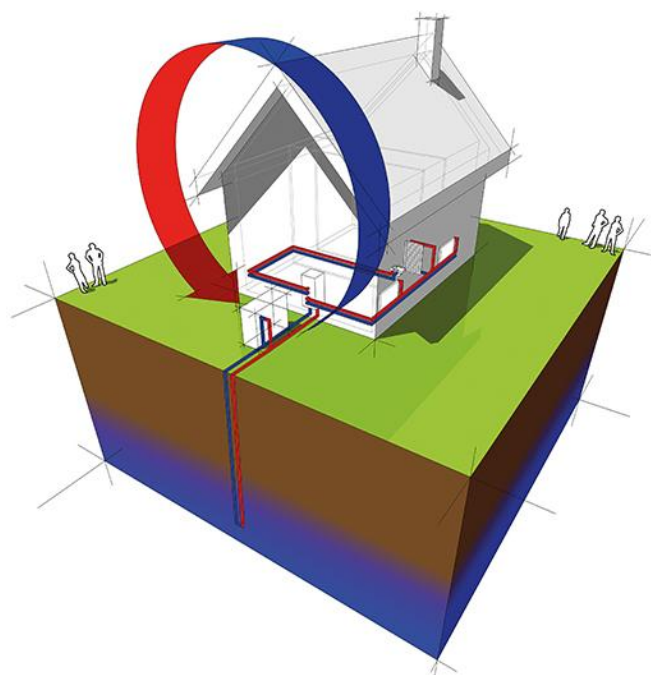


Regione Emilia-Romagna

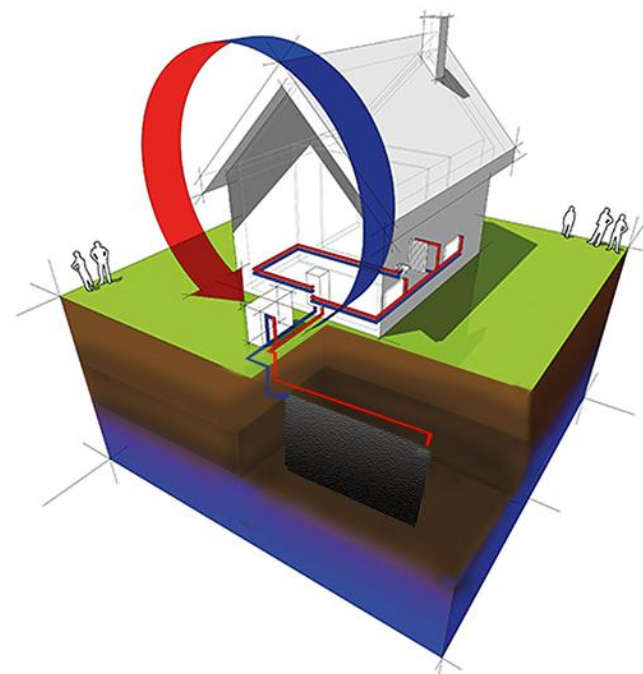


# Analisi ambientale ed economica (OR4)

Pompa di calore *dual-source*



Kit di trasformazione  
di pompe di calore esistenti



**MIGLIORI PRESTAZIONI**



**RISPETTO PER L'AMBIENTE**



**RIDUZIONE DEI COSTI**

# Analisi LCA e LCC pompa di calore

## - stato dell'arte -



Nr.	Authors	Title	Source	Country	Date	LCA	LCC
1	Shonder J.A. et al.	Comparative Analysis of Life-Cycle Costs of Geothermal Heat Pumps and Three Conventional HVAC Systems.	ASHRAE	USA	2000		●
2	Bloomquist R. G.	The economics of geothermal heat pump systems for commercial and institutional buildings.	Proceedings of the International Course on Geothermal HP	USA	2001		●
3	Chiasson A.	Final report – Life cycle cost study of a geothermal heat pump system BIA Office BLDG. Winnebago, NE.	Oregon Institute of Technology	USA	2006		●
4	Heikkila K.	Environmental evaluation of an air-conditioning system supplied by cooling energy from a bore-hole based heat pump system.	Building and Environment	Sweden	2008	●	
5	Shah V.P. et al.	Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States.	Energy and Buildings	USA	2008	●	
6	Saner D. Juraske R. et al.	Is it only CO <sub>2</sub> that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Germany, Switzerland	2010	●	
7	Chengmin C. et al.	Assessment for central heating systems with different heat sources: A case study.	Energy and Buildings	China	2012	●	●
8	Greening B., Azapagic A.	Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK.	Energy	UK	2012	●	
9	Genkinger A. et al.	Combining heat pumps with solar energy for domestic hot water production.	Energy Procedia	Switzerland	2012	●	
10	Zhu Y., Tao Y., Rayegan R.	A comparison of deterministic and probabilistic life cycle cost analyses of ground source heat pump (GSHP) applications in hot and humid climate.	Energy and Buildings	USA	2012		●
11	Wang Y. et al.	Analysis on energy-saving effect and environmental benefit of a novel hybrid-power gas engine heat pump.	International Journal of Refrigeration	China	2013	●	
12	Abusoglu A., Sedeeq M. S.	Comparative exergo-environmental analysis and assessment of various residential heating systems.	Energy and Buildings	Turkey	2013	●	
13	Nitkiewicz A., Sekret R.	Comparison of LCA results of low temperature heat plant using electric heat pump, absorption heat pump and gas-fired boiler.	Energy Conversion and Management	Poland	2014	●	
14	Russo G. et al.	Environmental analysis of geothermal heat pump and LPG greenhouse heating systems.	Biosystem Engineering	Italy	2014	●	
15	Huang B., Mauerhofer V.	Life cycle sustainability assessment of ground source heat pump in Shanghai, China.	Journal of Cleaner Production	China	2016	●	●
16	Koroneos C. J., Nanaki E. A.	Environmental impact assessment of a ground source heat pump system in Greece.	Geothermics	Greece	2017	●	
17	Lu Q. et al.	Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne.	Energy	USA	2017		●

# Analisi LCA pompa di calore

## - stato dell'arte -



Reference	FU	SB		Lifespan	Data source	Life phases (according to EN 15804:2012+A1:2013)					Recycling D
		Distribution system	Terminal devices			Production A1 – A3	Construction A4, A5	Use B1 – B7	End-of-life C1 – C4		
Abusoglu & Sedeeq	Heating capacity (10 kW)	x	x	25 yrs	Manufacturers, Ecoinvent v2.2, Calculations	A1 A2	A4 A5	B1 B2 B6	C2 C4: land fill	-	
Chengmin et al.	Complete system (800 kW d.c.)	x	-	15 yrs	Calculated data	- (low impact)	- (low impact)	B1 B6	C3	-	
Genkinger et al.	Heating capacity (5.1 kW)	x	-	20 yrs	Ecoinvent v2.1, v2.3	A1-A3	A4 A5	B1 B6	C4	-	
Greening & Azapagic	1 kW of installed power	x	-	20 yrs	Manufacturers, Ecoinvent v2.1, Calculations	A1-A3	A4 A5	B1-B4 B6	C1-C4: inert material landfill disposal, wastewater treatment	D: re-use of refrigerant, metals recycling	
Heikkilä	Complete system (0.07 MWh/year heating – 35.2 MWh/year cooling)	x	x	15 yrs	Manufacturers, literature, monitoring	A1 A3	A5	B1 B4 B6	C4: metals (5%) and mineral wood insulation (100%) landfilling; plastics and polyethylene (10%) incineration with energy recovery	D: metals (95%) and polyethylene (90%) recycling	
Huang & Mauerhofer	Energy consumption/m <sup>2</sup> /year	-	-	20 yrs	Literature, Monitoring	A1 A3	-	B1 B6	-	-	
Koroneos & Nanaki	1 kW of installed power	x	-	25 yrs	Producers	A1-A3	A4 A5	B1 B6	-	-	
Nitkiewicz and Sekret	Heating capacity (3158 GJ)	x	-	20 yrs	Ecoinvent v2.0	A1-A2	-	B1 B6	-	-	
Russo et al.	1 MJ of installed power	x	-	20 yrs	Technical data, GABI 6, Ecoinvent	A1-A3	A4 A5	B1 B6 B7	C4	D: recovery	
Saner et al.	Heating capacity (10 kW)	x	-	20 yrs	Ecoinvent v2.1, Calculations	A1-A3	A4 A5	B1 B2 B6 B7	C4	-	
Shah et al.	Complete system	-	-	35 yrs	Franklin USA 98, ETH-ESU 96	A1	A4 A5	B1-B4 B6 B7	C4: 10% landfilling	D: 90% recycling	
Wang et al.	Complete system	-	-	10 yrs	Literature, Calculations	A1 A3	-	B1 B6 B7	C4	D	

FU: Functional unit; SB: System boundaries.

# Analisi dello stato dell'arte

## - *risultati principali* -

- Tutti gli studi LCC e la maggior parte dei contributi LCA hanno analizzato impianti a **pompa di calore geotermica** (GSHP). Tre studi hanno analizzato gli impatti ambientali di **pompe di calore ad aria** (ASHPs).
- Le **prestazione ambientali ed economiche sono analizzate separatamente**: è stato difficile trovare contributi che avessero considerato contemporaneamente entrambi gli aspetti. Solo uno studio affronta **aspetti sociali**.
- Quasi tutti gli studi, dopo una valutazione ambientale e/o economica del sistema selezionato, hanno prodotto un **confronto con impianti convenzionali**.
- Dal punto di vista ambientale, le pompe di calore sono indubbiamente soluzioni attraenti, ma entro certi **limiti e condizioni**.
- Il principale contributo all'impatto ambientale delle pompe di calore è dovuto al loro funzionamento e quindi all'energia elettrica utilizzata. La **fase di uso contribuisce in media all'80% dell'impatto totale** ed è molto influenzata dal **mix elettrico utilizzato**. Quando una grande percentuale di elettricità deriva da combustibili fossili, la pompa di calore può avere un carico ambientale superiore a quello di impianti tradizionali alimentati dai combustibili fossili.

# Analisi LCA pompa di calore *dual-source*

## - obiettivo e campo di applicazione -

### Obiettivo:

valutazione delle prestazioni ambientali della una **pompa di calore *dual-source* da 10kW**

**UF: 1 MJ** termico per climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento)

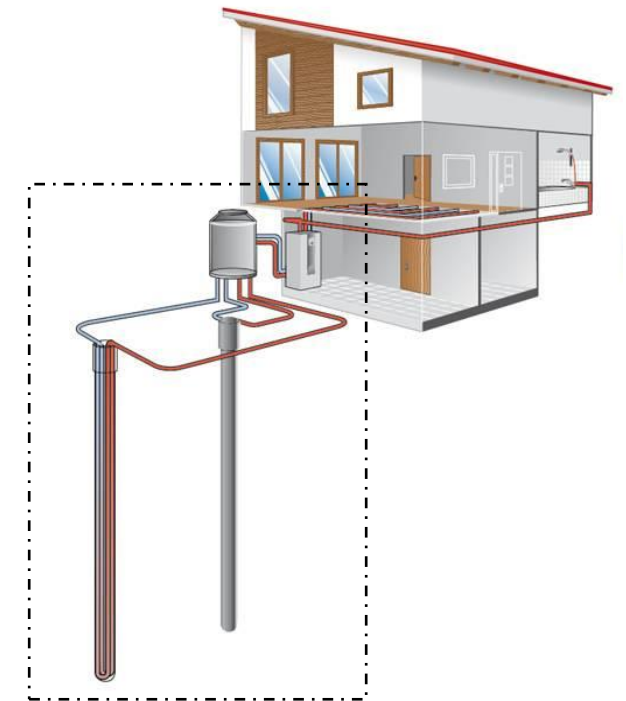
**Confini del sistema:** dalla produzione dei componenti alla dismissione finale  
(*esclusi dai confini del sistema i terminali in ambiente*)

### Qualità dei dati:

- **dati primari**, forniti dai partner del progetto:
  - Galletti S.p.A. (materiali, caratteristiche tecniche, trasporti, manutenzione, ciclo di vita)
  - CIRI EC (potenze, rendimenti, consumi)
- **dati secondari:** database Ecoinvent 2.0 e 3.0,
  - dati di letteratura e schede tecniche

### Trasporti su strada:

- **Principali noti:** distanze Bentivoglio (Bo) da fornitori principali
- **Assunzioni:** 100 km



**Confini del sistema**

Fonte immagine: Abbenante et al., 2016



# Analisi LCA pompa di calore *dual-source*

## - principali assunzioni -

**Tipologia di refrigerante:** R132A = R410A (*Russo et al., 2014*)

### **Emissioni di refrigerante:**

- **3%** durante la produzione e l'installazione (*Saner e al., 2010; Greening e Azapagic, 2012; Ecoinvent*)
- **6% annuo** durante l'uso (*Saner e al., 2010; Greening e Azapagic, 2012; Abusoglu e Sedeeq, 2013*)
- **20%** durante le operazioni di smantellamento e recupero (*Saner e al., 2010; Ecoinvent*)

### **Manutenzione:**

- manutenzione ordinaria non considerata (es: pulizia periodica evaporatore, condensatore e tubo di scarico condensa)
- un controllo ogni 12 mesi (**Regolamento europeo sui gas fluorurati ad effetto serra (F-gas) n. 517/2014**)

**Durata di vita:** 15 anni

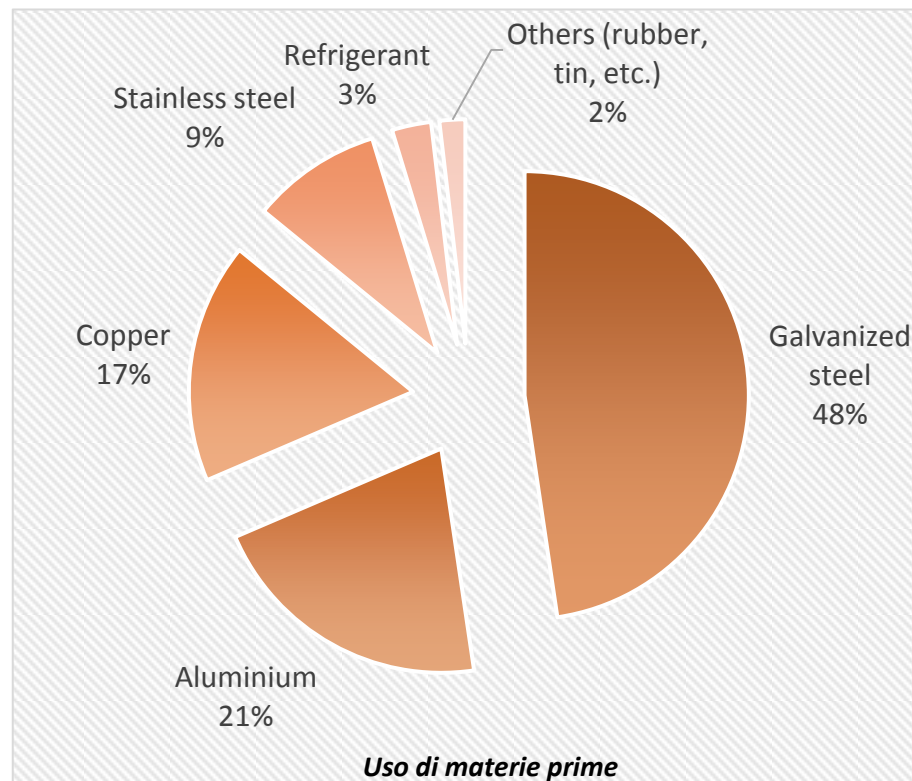
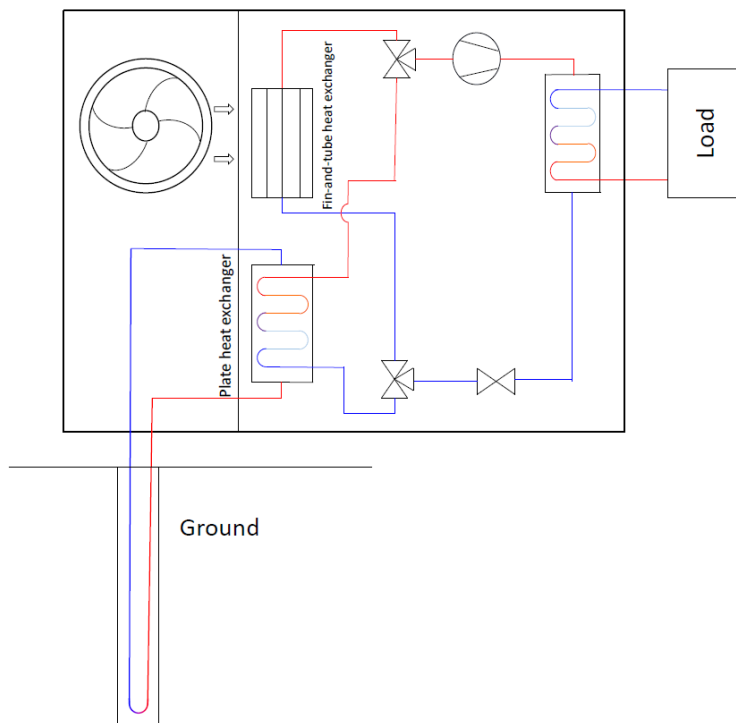
### **Fine vita:**

- **riciclo** del 59% delle plastiche, del 74% dell'alluminio, del 73,4% dell'acciaio, del 45% di rame
- **rigenerazione** del refrigerante restante (36,93% di carica originale = 6,40kg)
- materiali non riciclabili in **discarica**

# Analisi di inventario

## - pompa di calore -

- UF: 1p
- Durata di vita: 12 anni

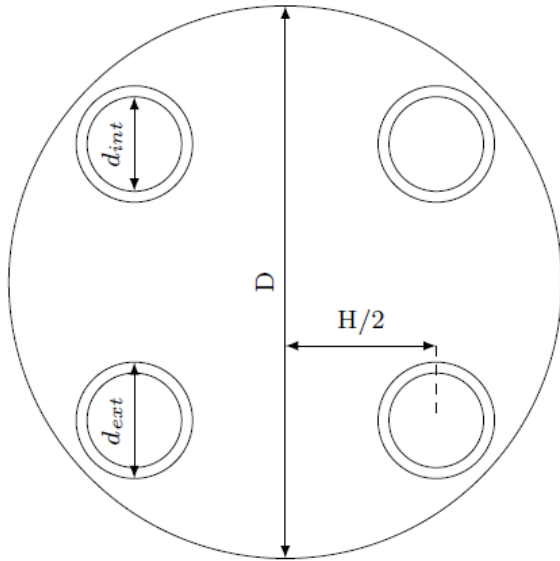


INPUT*	Q.ty	Unit
<b>Basic materials:</b>		
Steel	128,85	kg
Aluminium	47,16	kg
Copper	39,17	kg
Refrigerant	6,40	kg
Others (rubber, tin, etc.)	4,20	kg
<b>Resources:</b>		
Water	0,70	m <sup>3</sup>
<b>Energy:</b>		
Heat, natural gas, industrial	1400	MJ
Electricity, medium voltage	140	kWh
<b>OUTPUT*</b>		
<b>Waste:</b>		
Plastic in incineration plant	2,61	kg
Regeneration R410a	4,92	kg
<b>Emissions to air:</b>		
Ethane, 1, 1, 1, 2-tetrafluoro-, HFC-134a	1,472	kg
<b>Emissions to water:</b>		
Water	0,60	m <sup>3</sup>

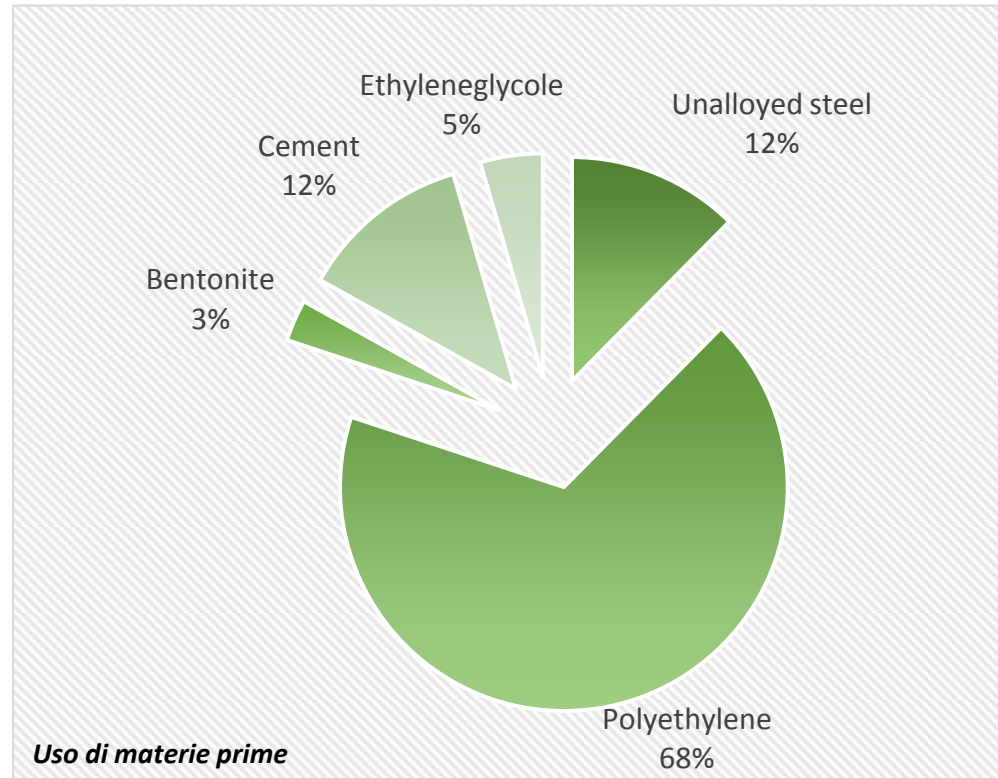
# Analisi di inventario

## - sonde geotermiche -

- UF: 1p
- Durata di vita: 100 anni



- $d_{ext} = 152 \text{ mm}$
- $H = 83 \text{ mm}$
- $L = 90 \text{ m}$



INPUT*	Q.ty	Unit
<b>Basic materials:</b>		
Reinforcing steel	27,87	kg
Polyethylene	152,00	kg
Bentonite	6,76	kg
Cement	27,86	kg
Ethylene glycol	86,13	kg
<b>Resources:</b>		
Water	8,61	m <sup>3</sup>
<b>Energy:</b>		
Diesel in building machine	14947	MJ
<b>OUTPUT*</b>		
<b>Emissions to water:</b>		
Water	7,32	m <sup>3</sup>
<b>Waste:</b>		
Waste in inert materials landfill	2111,10	kg
Treatment, heat carrier liquid, 40% C3H8O2, in wastewater treatment	0,25	m <sup>3</sup>

# Analisi di inventario

## - fase d'uso -

Modellazione e simulazione in regime dinamico di un **edificio di civile abitazione** situato a Bologna

### Carico

- termico = 8.6 kW
- frigorifero = 2.8 kW

### Impianto a ventilconvettori:

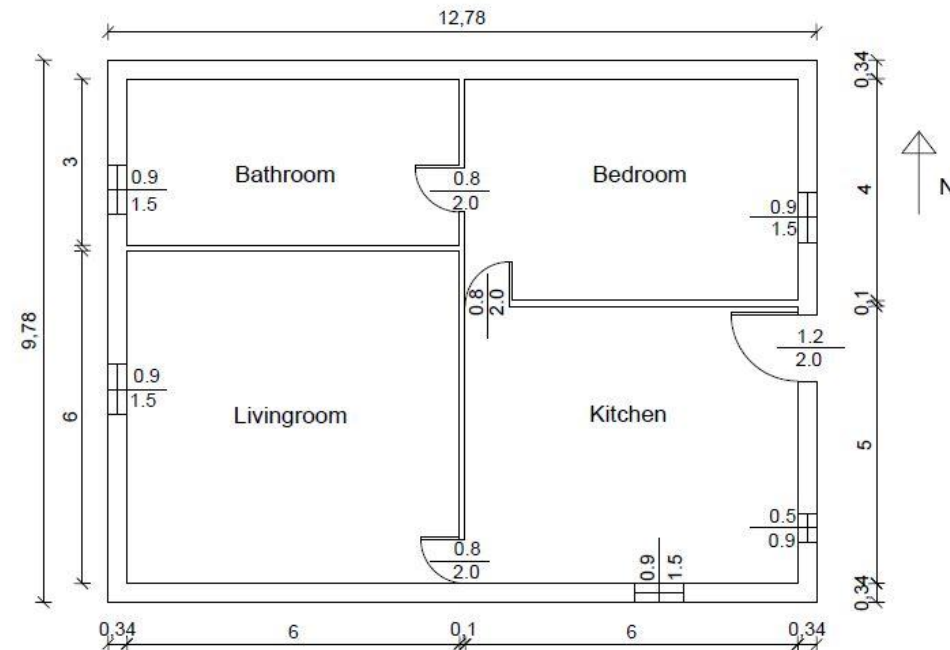
- DSHP: 10 kw
- Campo sonde: 2 x 90m

### Coefficienti di prestazione stagionali (15° anno):

- SCOP = 3.35, SEER = 2.92
- APF = 3.41

### % calore prodotto:

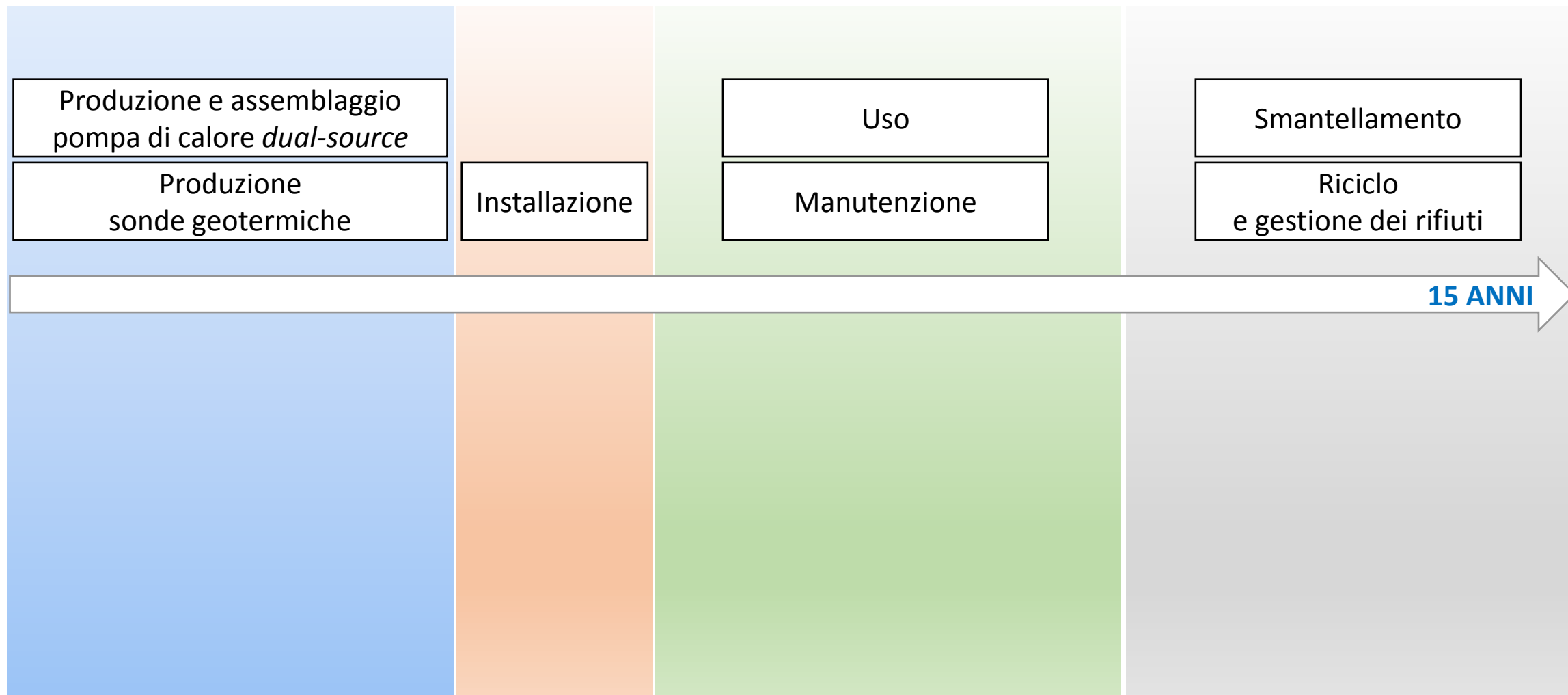
- 19.3% da sorgente aria
- 80.3% da sorgente terreno



Pianta edificio di riferimento

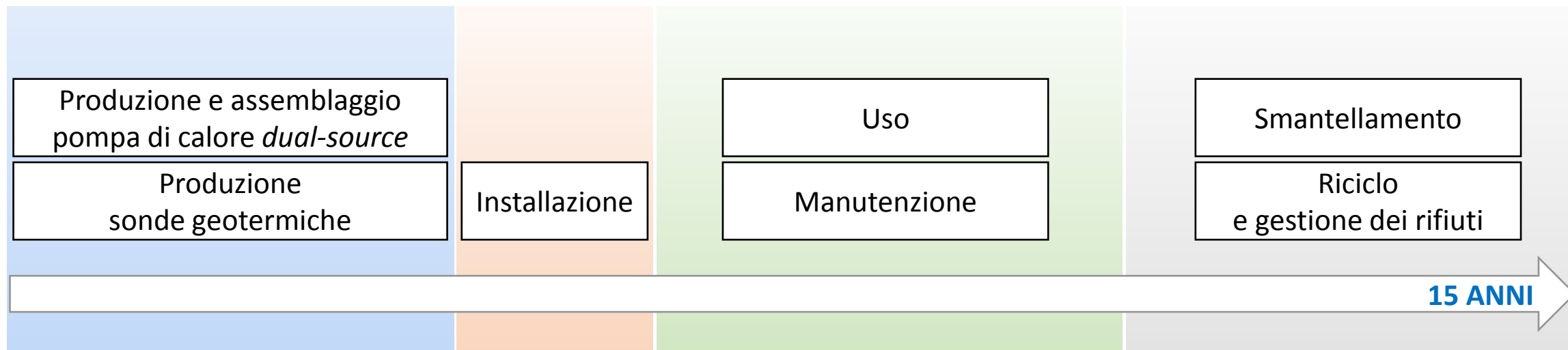
# Analisi LCA pompa di calore *dual-source*

## - *flow-chart del processo* -



# Analisi LCA pompa di calore *dual-source*

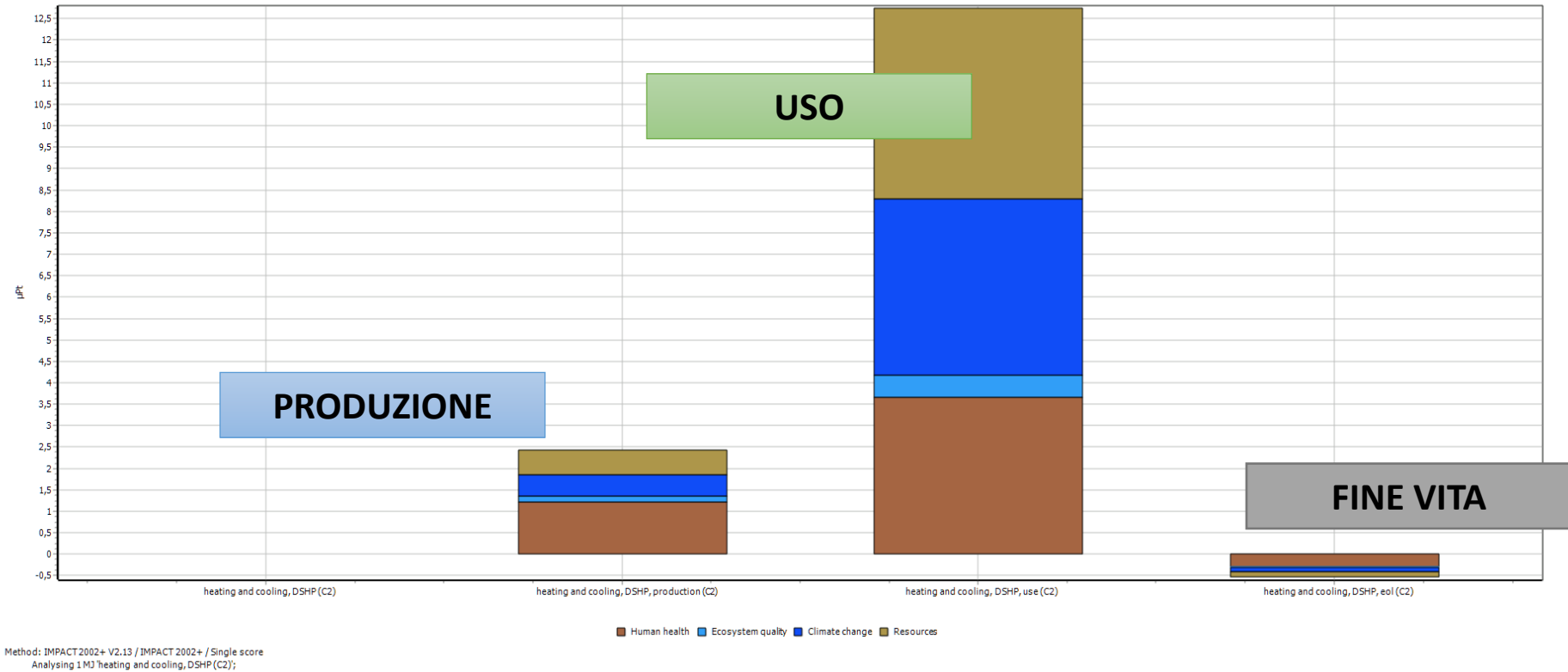
## - flow-chart del processo -



Life phases (according to EN 15804:2012+A1:2013)																
Product Stage			Construction Stage		Use Stage							End-of-Life Stage				Benefits and loads beyond boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Installation	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction	Transport	Waste processing	Disposal	Recycling Credit
X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X

# Analisi dei risultati

## Climatizzazione con pompa di calore dual-source



Danno totale = 14,65 mPt

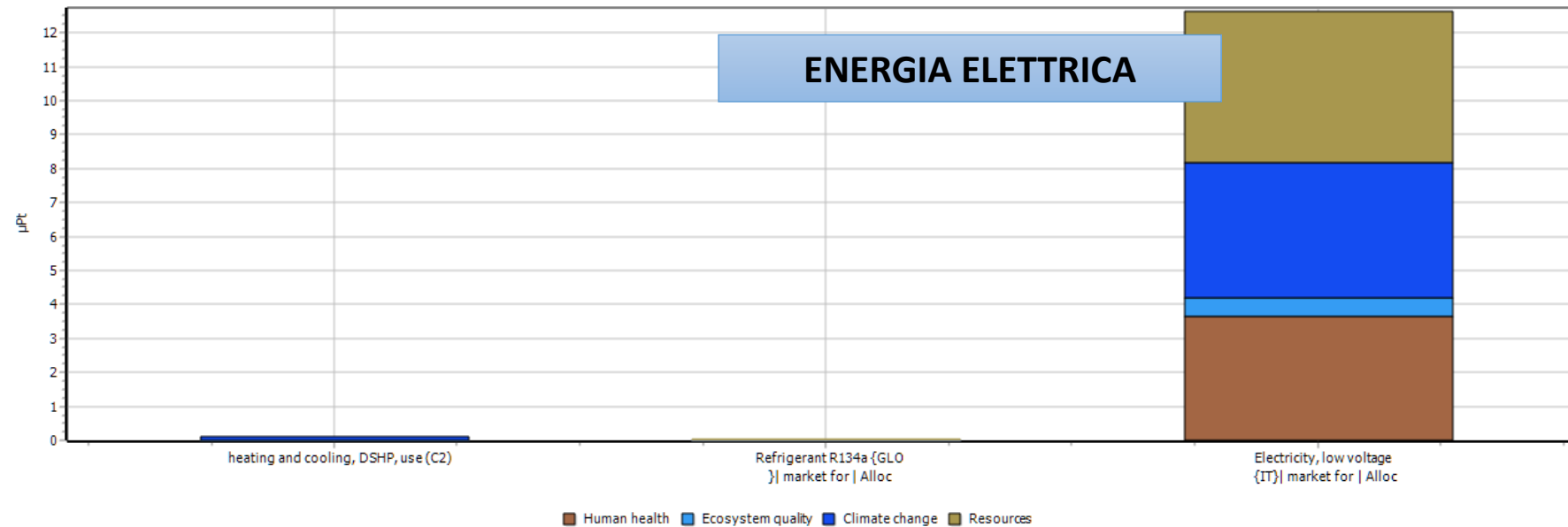
16,62% = produzione

87% = uso

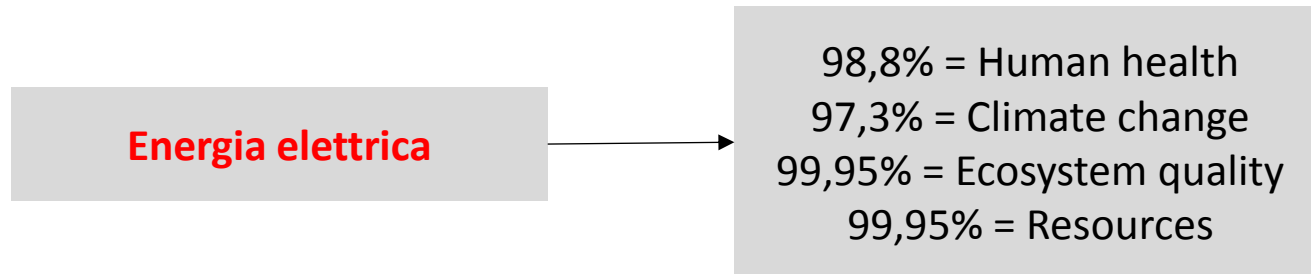
- 3,63% = fine vita

# Analisi dei risultati

## Uso pompa di calore dual-source



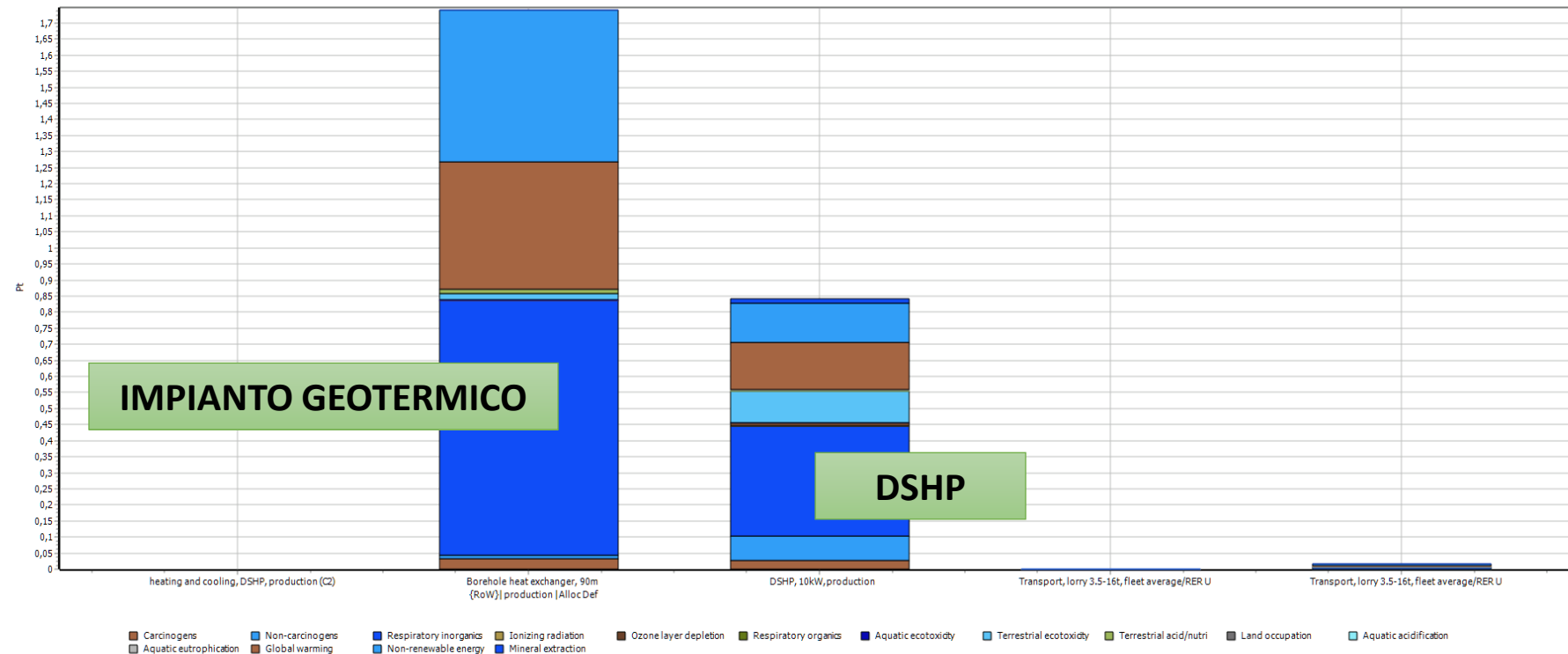
Method: IMPACT2002+ V2.13 / IMPACT 2002+ / Single score  
Analyzing 1 MJ heating and cooling, DSHP, use (C2);





# Analisi dei risultati

## Produzione e installazione pompa di calore dual-source

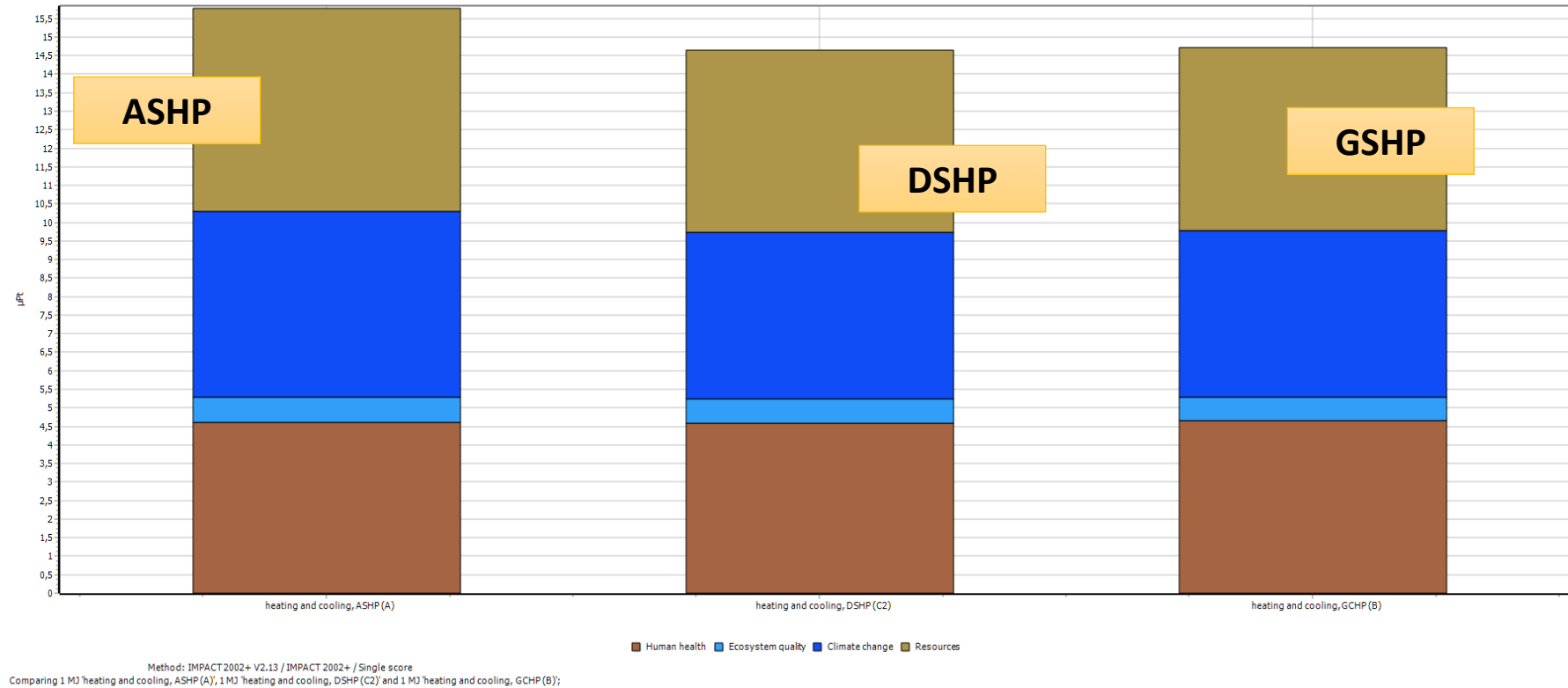


Danno totale = 2,60 mPt

32,38% = DSHP  
66,98% = impianto geotermico

# Analisi dei risultati

## Confronto con pompe di calore tradizionali

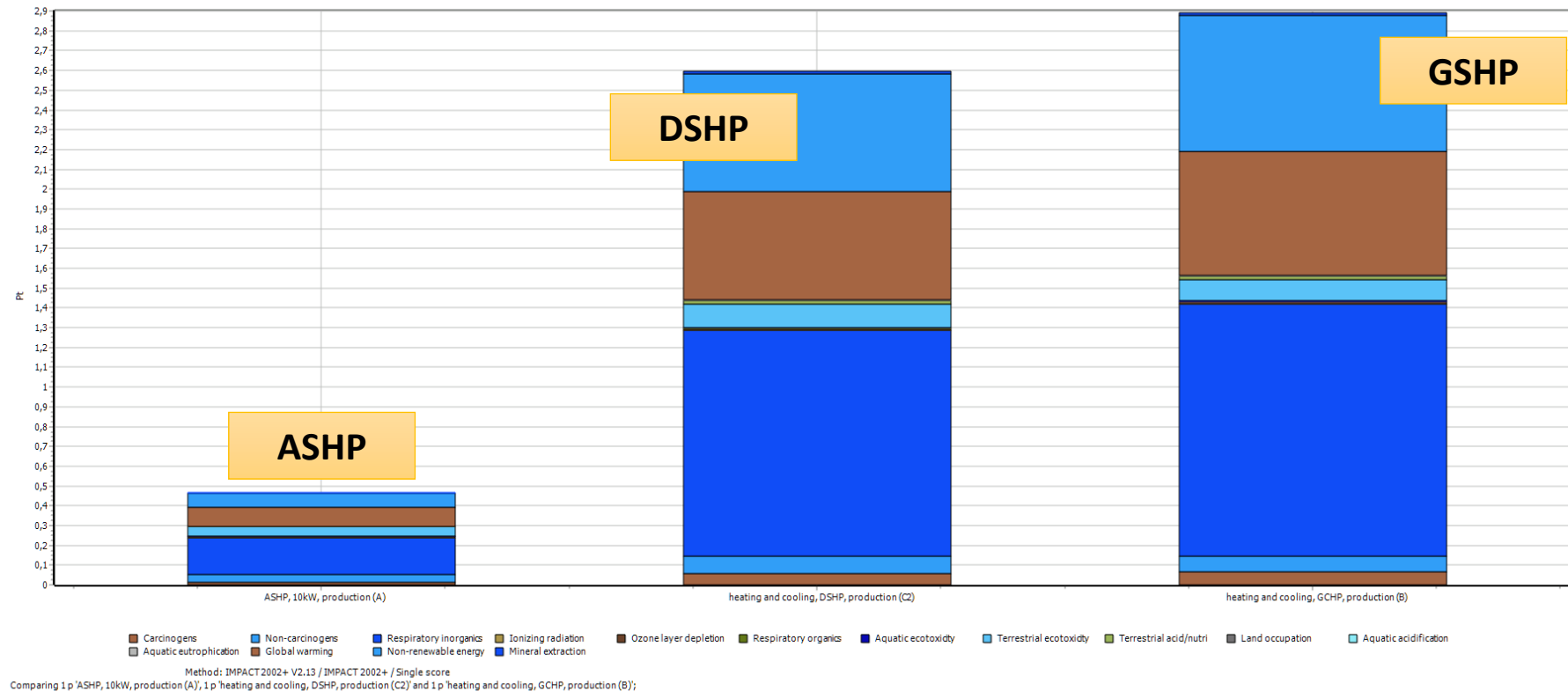


Danno totale DSHP =  
14,65 mPt

+2% = ASHP  
+1% = GSHP

# Analisi dei risultati

## Confronto con pompe di calore tradizionali – fase di produzione



**Danno totale produzione**  
ASHP = 0,47 mPt

**Danno totale produzione**  
DSHP = 2,60 mPt  
GSHP = 2,90 mPt

# Conclusioni



## Risultati principali

- Gli impatti ambientali relativi **al mix di energia elettrica** utilizzata per alimentare le pompe di calore durante la fase di funzionamento sono i più alti dell'intero ciclo di vita.
- Il **coefficienti di prestazione (SCOP, SEER, APF)** giocano un ruolo cruciale nell'impatto ambientale in fase d'uso
- La fase di **installazione delle sonde geotermiche** è la seconda causa di impatto ambientale più gravosa. Seguita dalle emissioni di gas serra del **refrigerante** durante la fase di esercizio, ma anche a causa dell'inquinamento derivante da potenziali perdite durante tutte le fasi del ciclo di vita.

## Sviluppi futuri

- Acquisizione ed elaborazione dei **dati sperimentali** emersi durante i test su entrambi gli impianti pilota
- Approcci tecnologici:
  - variazione località e condizioni climatiche
  - integrazione con **impianto fotovoltaico a DSSCs** (*Grid-connected o Storage*)
  - uso di **refrigeranti naturali** o a basso impatti ambientale



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

# Grazie per l'attenzione

**Simona Marinelli**



---

Centro Interdipartimentale EN & TECH

4° Seminario Tecnico LCA – Reggio Emilia, 11 Aprile 2018

**HEGOS**