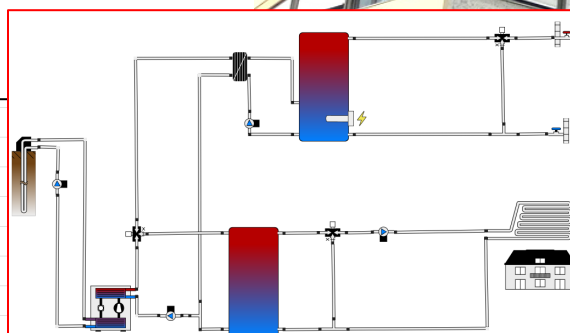
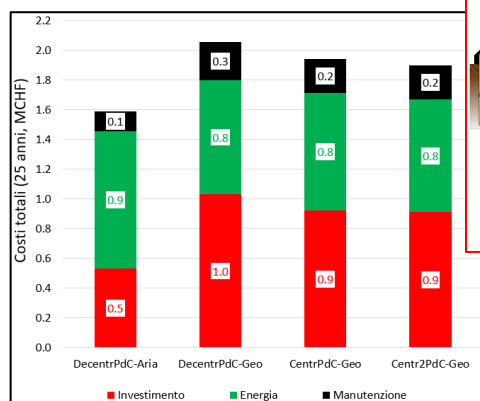
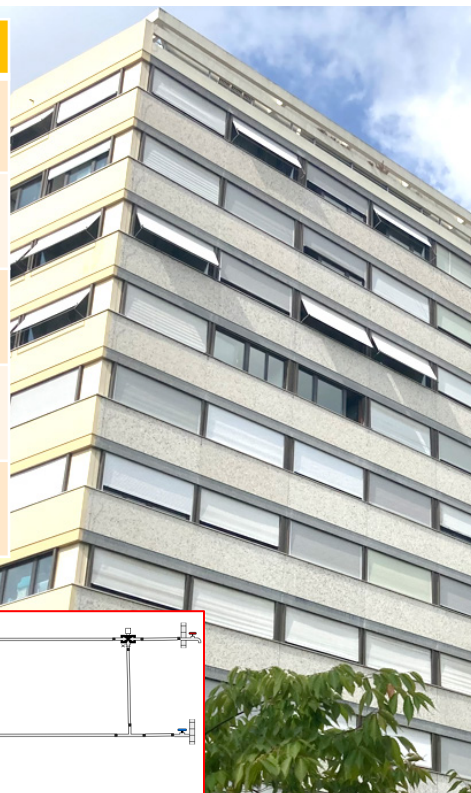


# Soluzioni con pompe di calore per la decarbonizzazione degli edifici esistenti - Cinque casi studio

Cinque edifici reali e archetipici in tutta la Svizzera sono stati selezionati e analizzati con l'obiettivo di confrontare diverse soluzioni basate su pompe di calore per la sostituzione dei sistemi di riscaldamento a combustibile fossile. In collaborazione con il partner di implementazione Scheco AG, i risultati sono stati riassunti in schede informative. Le schede informative possono aiutare i proprietari di edifici, i progettisti e le autorità pubbliche nella scelta delle varianti di riscaldamento.

Factsheet	Pagina
Factsheet 1 - Vecchio edificio degli anni '40	1
Factsheet 2 - Edificio multipiano degli anni '60	6
Factsheet 3 - Grande complesso immobiliare degli anni '60	11
Factsheet 4 - Condominio degli anni '70	16
Factsheet 5 - Complesso edilizio di cinque case plurifamiliari	21



## Sistema a pompa di calore per edifici plurifamiliari esistenti

### Caso di studio 1 - Vecchio edificio degli anni '40

#### CARATTERISTICHE

Situata nel centro della città di Losanna, questa casa plurifamiliare è caratterizzata da un uso misto (negozi al piano terra e appartamenti agli altri piani). Dispone di cinque piani residenziali e di un attico per un totale di 24 appartamenti. Sotto il tetto a padiglione c'è una soffitta non riscaldata.

Il prospetto del piano terra è rivestito con pannelli in pietra artificiale. Le finestre sono state sostituite. Solo gli infissi delle vetrine dei negozi al piano terra sono completamente intatti. Le finestre sono incorniciate da elementi in pietra artificiale strutturata. Le lastre cementizie delle logge poggiano sulle solide pareti esterne. I parapetti sono in mattoni intonacati con ringhiere in ferro.

L'impianto di riscaldamento vero e proprio, installato al piano seminterrato dell'edificio, è costituito da una caldaia a gasolio che produce energia per il riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria. L'energia per il riscaldamento degli ambienti viene fornita agli ambienti utilizzando radiatori. L'edificio si trova in prossimità di una rete di teleriscaldamento esistente.

#### Descrizione



Anno di costruzione	1939
Ubicazione	Losanna (cantone Vaud)
Area di riferimento energetico	2445 m <sup>2</sup>
Categoria edificio (SIA 380/1)	Residenziale (85%), Commerciale (15%)
Fabbisogno di riscaldamento degli ambienti calcolato	230 MWh/a (94 kWh/m <sup>2</sup> a)
Fabbisogno di acqua calda sanitaria calcolato	66 MWh/a (27 kWh/m <sup>2</sup> a)
Impianto di riscaldamento	Caldaia a gasolio
Erogazione di calore	Radiatori



#### Attico/Tetto

Quattro appartamenti mansardati con tetto a padiglione piano

#### Parete esterna

Blocchi di calcestruzzo forati intonacati (35 cm circa)

#### Esterno

Loggia incassata, soffitto in cemento, balaustra in muratura intonacata con corrimano in ferro

#### Appartamenti

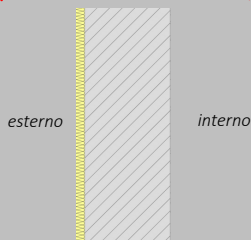
Cinque piani sono destinati agli appartamenti (20 appartamenti)

#### Piano commerciale

Piano terra occupato da negozi

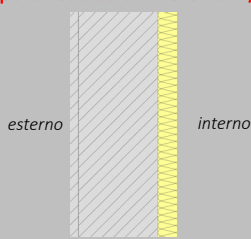


**Parete esterna (appartamenti)**  
**U prima della ristrutturazione: 1.22 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione: 0.65 W/m²K**



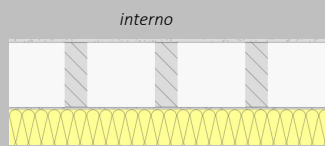
Intonaco isolante minerale (40 mm)  
 Blocchi forati in cemento (340 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)

**Parete esterna (basamento)**  
**U prima della ristrutturazione: 1.19 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione: 0.26 W/m²K**



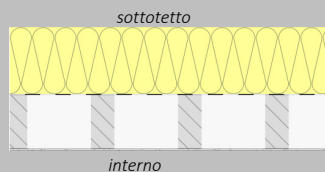
Lastra in pietra artificiale (40 mm)  
 Blocchi forati in cemento (340 mm)  
 Isolamento (90 mm)  
 Barriera al vapore

**Soffitto della cantina**  
**U prima della ristrutturazione: 0.98 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione: 0.22 W/m²K**



Piastrelle (12 mm)  
 Soffitto Hourdis (210 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)  
 Isolamento (120 mm)

**Sottotetto**  
**U prima della ristrutturazione: 1.01 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione: 0.14 W/m²K**



Isolamento (200 mm)  
 Barriera al vapore  
 Soffitto Hourdis (160 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)

**Finestra degli appartamenti**  
**U<sub>g</sub> prima della ristrutturazione : 1.1 W/m²K**  
**U<sub>f</sub> prima della ristrutturazione : 2.0 W/m²K**  
**g prima della ristrutturazione : 0.55**  
**U<sub>g</sub> dopo la ristrutturazione : 0.6 W/m²K**  
**U<sub>f</sub> dopo la ristrutturazione : 1.1 W/m²K**  
**g dopo la ristrutturazione : 0.67**

## INVOLUCRO EDILIZIO - Strategia di ristrutturazione

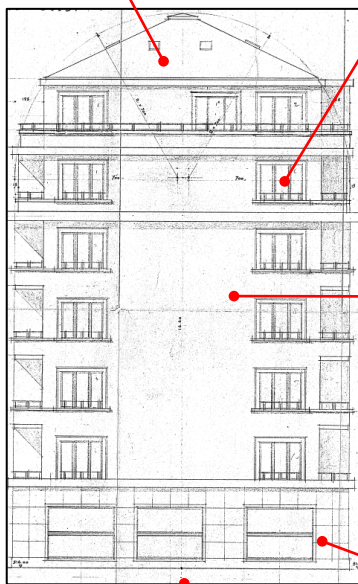
Le caratteristiche architettoniche della facciata, delle logge, dell'angolo aperto dell'edificio e del sottotetto rientrato rendono difficile l'installazione dell'isolamento esterno senza perdite architettoniche. La strategia di risanamento scelta per le pareti esterne sotto forma di intonaco isolante consente di preservare le qualità architettoniche. Per compensare ciò, il sottotetto ed il soffitto della cantina vengono isolati al massimo e le finestre sostituite.

La struttura esistente del sottotetto viene isolata con 200 mm di isolamento per un valore U totale dopo la ristrutturazione di 0.14 W/m²K. Il soffitto della cantina viene isolato (strato isolante di 120 mm) in modo da raggiungere un valore U di 0.22 W/m²K. La parete esterna degli appartamenti viene dotata di un ulteriore intonaco isolante minerale di 40 mm all'esterno, mentre le pareti esterne del basamento vengono isolate internamente (90 mm). Tutte le finestre vengono sostituite con infissi a triplo vetri con telaio in legno.

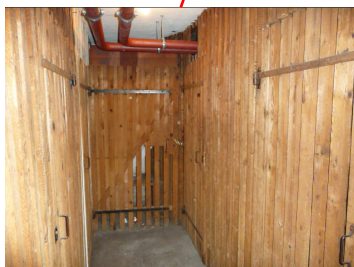
Sottotetto\*



Finestre degli appartamenti\*



Parete esterna degli appartamenti\*



Soffitto cantina non riscaldato\*



Parete esterna basamento\*

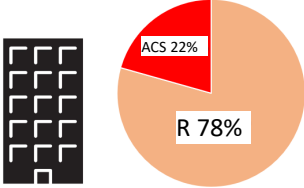
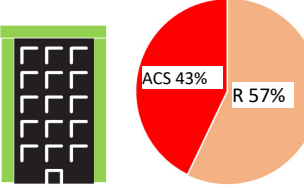
\*Stato attuale (prima della ristrutturazione)

CONCETTO ENERGETICO - Definizione delle varianti di riscaldamento

Per ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> dell'impianto di riscaldamento esistente per il riscaldamento degli ambienti (R) e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sono state studiate due varianti:

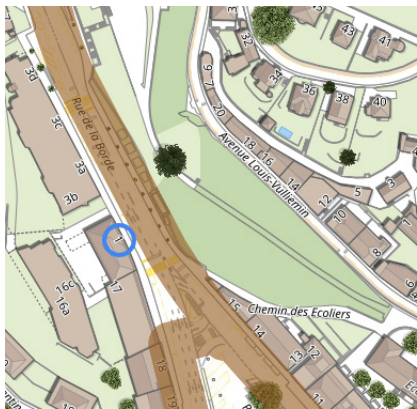
- Teleriscaldamento (TLR): la rete di teleriscaldamento esistente viene utilizzata per fornire energia all'edificio per R e produzione di ACS;
- Pompa di calore aria-acqua (PdC-Aria): R e ACS sono coperti da una pompa di calore aria-acqua.

La variante PdC-Aria è stata presa in considerazione solo nel caso in cui l'involucro dell'edificio venga ristrutturato. In tutte le varianti si considera la sostituzione dei radiatori esistenti con nuovi radiatori. La temperatura dell'acqua di mandata è stata impostata in base allo stato dell'involucro dell'edificio. Poiché la perforazione di sonde non è consentita in quest'area, le pompe di calore geotermiche non sono state considerate come variante di riscaldamento in questa analisi. I dettagli sulle diverse varianti di riscaldamento sono descritti nell'allegato. Le varianti di riscaldamento sono state definite dopo una discussione preliminare con i partner di progetto.

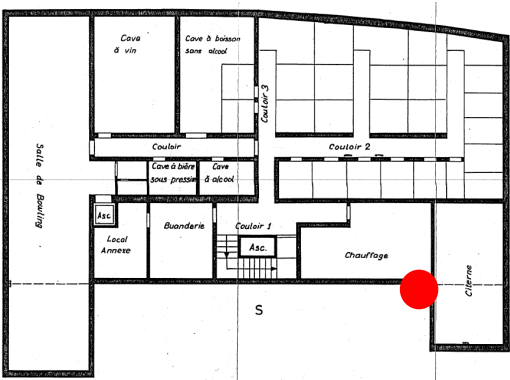
	Involucro edilizio non ristrutturato R / ACS [kWh/m²a]: 94 / 27		Involucro edilizio ristrutturato R / ACS [kWh/m²a]: 36 / 27	
				
Variante di riscaldamento	TLR		PdC-Aria	TLR
COP <sub>nom</sub> /Capacità PdC <sub>max</sub> (a Aria2/Acqua35)*	-		3.9 / 93 kW (38 W/m²)	-
Potenza di teleriscaldamento	150 kW (61 W/m²)		-	70 kW (29 W/m²)
Accumulatore termico ACS/R	2500 l / -		2500 l / 3500 l	2500 l / -
Fabbisogno di energia elettrica (kWh/m²a)**	-		19	-
Domanda di energia dalla rete TLR (kWh/m²a)	122		-	65

\* dati dalle schede tecniche delle PdC reali

\*\* Fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (pompe di calore + pompe di circolazione)



L'edificio (cerchiato in blu) si trova accanto a una rete di teleriscaldamento esistente. Per questo motivo, si è deciso di considerare il teleriscaldamento come possibile variante di riscaldamento per l'edificio in questione. Tutte le ipotesi (ad es. temperature, tariffe e così via) si basano sui dati disponibili sul sito web del fornitore di energia



Un aspetto cruciale per la variante PdC-Aria è il posizionamento dell'evaporatore. A causa della struttura del tetto e della posizione dell'edificio, l'installazione esterna o il posizionamento dell'unità sul tetto non è possibile. Insieme ai partner di progetto, si è deciso per un'installazione interna del componente nel locale della cantina dove è attualmente installato il serbatoio dell'olio combustibile (vedi punto rosso). Tale soluzione viene già utilizzata in edifici simili e rappresenta l'opzione migliore per l'edificio in analisi.

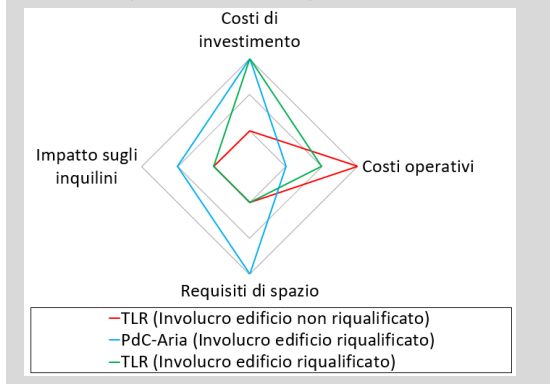
- Ipotesi**
- Incentivi economici non considerati;
  - I costi per la sostituzione dei radiatori esistenti non sono inclusi;
  - Solo il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento è incluso nei costi dell'elettricità;
  - Prezzo dell'energia elettrica costante di 0.25 CHF/kWh;
  - Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
  - Analisi temporale di 25 anni.

- Costi di investimento**
- Involucro edilizio non ristrutturato (solo impianto di riscaldamento)
- TLR: 140 kCHF (57 CHF/m<sup>2</sup>)
- Involucro edilizio ristrutturato (impianto di riscaldamento più involucro edilizio)
- PdC-Aria: 2.7 MCHF (1092 CHF/m<sup>2</sup>)
  - TLR: 2.3 MCHF (956 CHF/m<sup>2</sup>)

- Elettricità / Costi operativi (all'anno)**
- Involucro edilizio non ristrutturato
- TLR: 41.8 kCHF (17 CHF/m<sup>2</sup>)
- Involucro edilizio ristrutturato
- PdC-Aria: 11.5 kCHF (5 CHF/m<sup>2</sup>)
  - TLR: 22.2 kCHF (9 CHF/m<sup>2</sup>)

**Grafico radar per il confronto delle varianti di riscaldamento:**

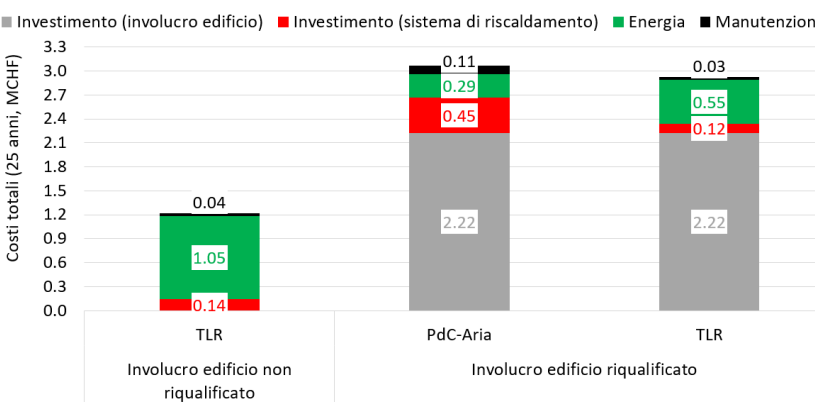
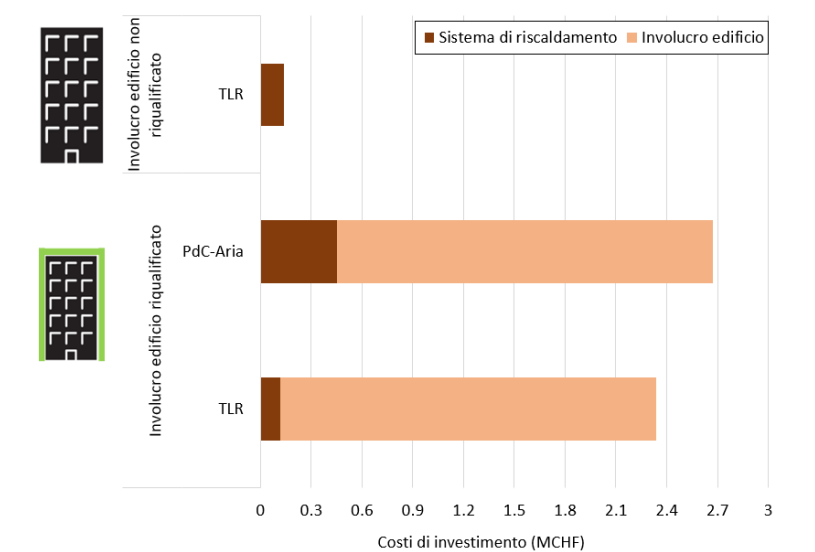
La variante TLR è la variante con i costi di investimento iniziali più bassi (140 kCHF) e i costi operativi più elevati (circa 42 kCHF). Poiché la variante TLR richiede solo l'installazione di uno scambiatore di calore nel locale tecnico, il fabbisogno di spazio è molto inferiore rispetto alla variante PdC-Aria, dove sono necessari componenti aggiuntivi (ad esempio, accumulatori, pompa di calore, evaporatore e così via).



# ANALISI ECONOMICA

Per confrontare tutte le varianti analizzate, è stata eseguita un'analisi economica su un arco temporale di 25 anni. Il primo diagramma seguente mostra per ciascuna variante i costi totali d'investimento, mentre il secondo diagramma mostra i costi totali (sui 25 anni) di investimento, operativi e di manutenzione.

Se si considera la variante TLR, i costi di investimento per l'impianto di riscaldamento sono leggermente più alti (+16%) nel caso in cui l'involucro dell'edificio non venga ristrutturato. In caso di involucro edilizio ristrutturato, i costi di investimento per il risanamento dell'involucro edilizio rappresentano circa l'85-95% dei costi totali di investimento. È importante sottolineare che qui i costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio si basano su ipotesi approssimative e sono soggetti a grandi incertezze. Nell'arco dei 25 anni, le due varianti PdC-Aria e TLR (in caso di involucro edilizio ristrutturato) hanno costi totali simili e pari a circa 3 MCHF.



# RACCOMANDAZIONE

Nel caso in cui l'involucro edilizio non venga ricalificato, la variante con TLR è stata l'unica opzione presa in considerazione. Nel caso in cui, invece, venga effettuato anche un risanamento energetico dell'involucro edilizio, il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio ed i costi operativi dell'impianto di riscaldamento si riducono, anche se i costi totali sono più elevati. Un ulteriore vantaggio della ristrutturazione dell'involucro edilizio sarà un maggiore comfort termico per gli abitanti. I maggiori costi di investimento della variante PdC-Aria sono in parte compensati dai suoi costi operativi inferiori rispetto alla variante TLR, con costi totali comparabili per entrambe le varianti. Il teleriscaldamento è caratterizzato da minori esigenze di spazio e da una bassa complessità dell'impianto rispetto al sistema di riscaldamento basato su pompe di calore. Inoltre, il locale in cui è installato il serbatoio dell'olio combustibile potrebbe essere reso libero per altri usi. È importante sottolineare che le valutazioni dei costi si basano su ipotesi approssimative che sono soggette a grandi incertezze.

**Simulazione di edifici – Input e ipotesi**

Per valutare il fabbisogno annuo di riscaldamento degli ambienti dell'edificio, è stato utilizzato lo strumento di simulazione dinamica multizona IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Entrambi i casi (cioè con e senza risanamento dell'involucro edilizio) sono stati modellati e simulati. Sono stati selezionati i dati climatici di Pully (SIA 2028), mentre i dati della norma nazionale SIA 2024 sono stati utilizzati per la modellazione degli apporti termici interni dell'edificio (persone ed elettrodomestici). È stata scelta una temperatura di set point di 22 °C con sistema di riscaldamento "ideale". Per l'intero edificio è stato ipotizzato un tasso di infiltrazione d'aria costante di 0.5 h-1. Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulla domanda di acqua calda sanitaria dell'edificio, sono state fatte ipotesi basate sulle norme nazionali e sull'esperienza.

**Analisi economica – Input e ipotesi**

Per confrontare le diverse varianti, è stata eseguita un'analisi economica. La valutazione dei costi di investimento (per ogni variante di riscaldamento e per la ristrutturazione dell'involucro edilizio) è stata effettuata con gli input dei partner di progetto e degli architetti. All'interno dei costi di investimento per l'impianto di riscaldamento, non è stato considerato il costo per la sostituzione dei radiatori. L'analisi economica è stata eseguita ipotizzando un arco temporale di 25 anni. Sono stati considerati un prezzo costante dell'energia elettrica di 0.25 CHF/kWh e un costo per la manutenzione pari all'1%/anno dei costi di investimento. Nella valutazione dei costi dell'energia elettrica, il consumo di elettricità per illuminazione e gli elettrodomestici dell'edificio non è stato preso in considerazione. Gli incentivi finanziari (per la ristrutturazione dell'involucro edilizio o l'installazione di sistemi a pompa di calore) non sono stati presi in considerazione.

**Simulazione varianti di riscaldamento – Descrizione e controlli**

Le diverse varianti di riscaldamento sono state modellate con l'aiuto del software POLYSUN. Le diverse varianti di riscaldamento, definite e modellate insieme ai partner, sono rappresentate schematicamente a destra.

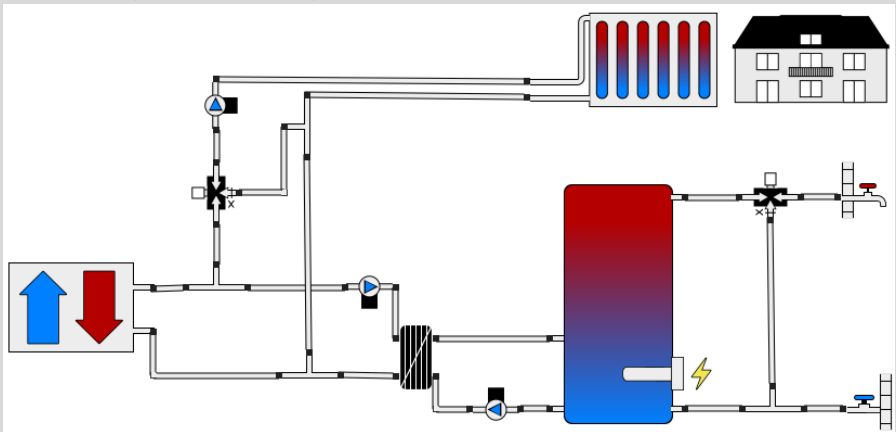
La variante PdC-Aria è dotata di due accumulatori per ACS (2500 l) e riscaldamento degli ambienti (3500 l). L'impianto di riscaldamento è dotato di una valvola a tre vie per l'attivazione della pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti o la preparazione di ACS (l'ACS ha sempre la priorità rispetto al riscaldamento degli ambienti).

La temperatura di setpoint per il riscaldamento degli ambienti si basa su una curva di riscaldamento (55 °C con una temperatura esterna di -8 °C) in funzione della temperatura ambiente.

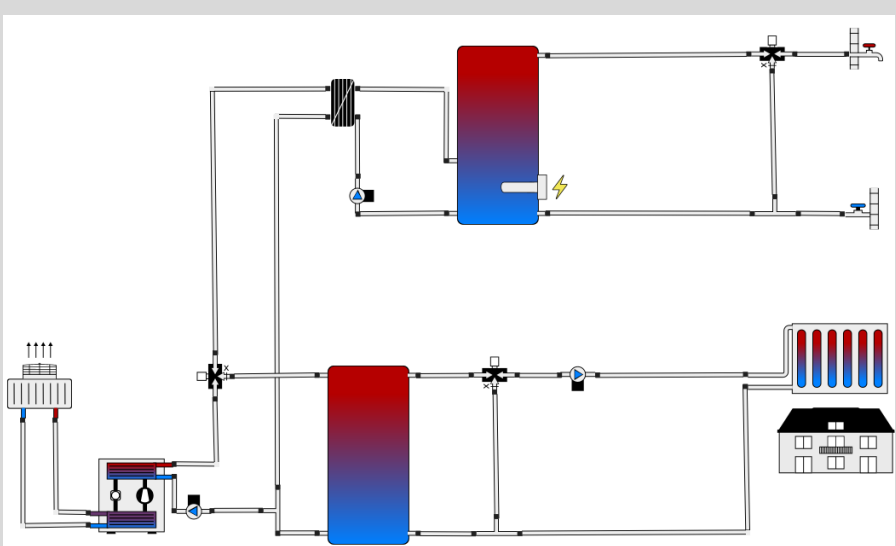
La variante TLR ha solo un accumulo per l'acqua calda sanitaria con un volume di 2500 l.

**Schemi delle varianti di riscaldamento**

Variante TLR (teleriscaldamento)



Variante PdC-Aria (Pompa di calore ad aria)





## Sistemi a pompa di calore per edifici plurifamiliari esistenti

### Caso di studio 2 - Edificio multipiano degli anni '60

#### CARATTERISTICHE

La casa plurifamiliare indipendente si trova alla periferia di Losanna in un'ampia area verde e fa parte di un insieme di edifici residenziali del dopoguerra. L'edificio dispone di diciotto appartamenti (quattro appartamenti per ogni piano) con due appartamenti situati al piano terra. La scala si trova sul lato nord-est ed è ampiamente vetrata con vetro singolo e telai metallici. Lo spazio mansardato sotto il tetto a padiglione piatto è inutilizzato e non riscaldato. Le pareti esterne intonacate, di spessore 30 cm, sono costituite da un supporto portante esterno in muratura, da uno strato d'aria e da un guscio di rivestimento interno in muratura. Sono ancora presenti alcune finestre originali con telaio in legno e doppi vetri singoli. Le tende a rullo con cassonetti interni fungono da protezione solare. L'attuale impianto di riscaldamento è costituito da una caldaia a gasolio che produce calore per il riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria. L'energia per il riscaldamento degli ambienti viene fornita attraverso i radiatori.

#### Descrizione



Anno di costruzione	1960
Ubicazione	Losanna (cantone Vaud)
Area di riferimento energetico	1475 m <sup>2</sup>
Categoria edificio (SIA 380/1)	Residenziale
Fabbisogno di riscaldamento degli ambienti calcolato	133 MWh/a (90 kWh/m <sup>2</sup> a)
Fabbisogno di acqua calda sanitaria calcolato	40 MWh/a (27 kWh/m <sup>2</sup> a)
Impianto di riscaldamento	Caldaia a gasolio
Fornitura calore	Radiatori



#### Tetto

Tetto piano sporgente a padiglione con copertura in tegole

#### Soffitto del piano superiore

Soffitto Hourdis

#### Cornice della finestra

Pietra fusa

#### Soletta interna

Soffitto Hourdis

#### Finestra

Telaio in legno, doppi vetri

#### Protezione solare

Tende a rullo con cassonetto interno

#### Parete esterna

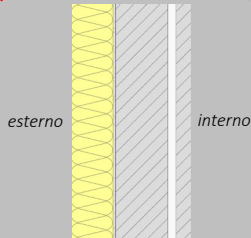
Muratura in laterizio intonacata con strato d'aria e guscio di rivestimento interno (spessore ca. 30 cm)

#### Area esterna

Loggia, soletta in calcestruzzo appoggiata alle pareti esterne, parapetto in muratura intonacata

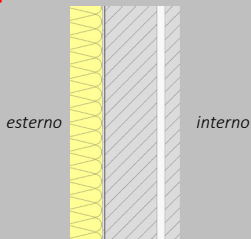
#### Soffitto Hourdis della cantina

**Parete esterna (appartamenti)**  
**U prima della ristrutturazione: 0.65 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione: 0.16 W/m²K**



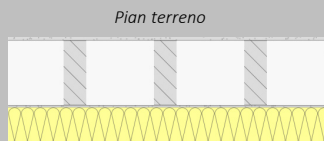
Strato isolante (160 mm)  
 Gesso (10 mm)  
 Muratura in mattoni forati (200 mm)  
 Strato d'aria (30 mm)  
 Muratura in mattoni (60 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)

**Parete esterna (balconi)**  
**U prima della ristrutturazione : 0.65 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione : 0.24 W/m²K**



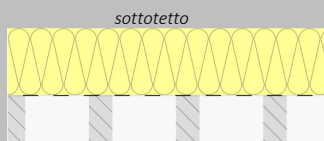
Strato isolante (100 mm)  
 Gesso (10 mm)  
 Muratura in mattoni forati (200 mm)  
 Strato d'aria (30 mm)  
 Muratura in mattoni (60 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)

**Soffitto della cantina**  
**U prima della ristrutturazione : 1.06 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione : 0.31 W/m²K**



Isolamento (120 mm)  
 Soffitto Hourdis con travi in calcestruzzo (250 mm)

**Sottotetto**  
**U prima della ristrutturazione : 0.3 W/m²K**  
**U dopo la ristrutturazione : 0.11 W/m²K**



Isolamento (260 mm)  
 Barriera al vapore  
 Isolamento 100 mm (rimosso)  
 Soffitto Hourdis con travi in calcestruzzo (210 mm)  
 Intonaco di gesso (7 mm)

**Finestra degli appartamenti**  
**U<sub>g</sub> prima della ristrutturazione : 1.1 W/m²K**  
**U<sub>f</sub> prima della ristrutturazione : 1.9 W/m²K**  
**g prima della ristrutturazione : 0.75**  
**U<sub>g</sub> dopo la ristrutturazione : 1.0 W/m²K**  
**U<sub>f</sub> dopo la ristrutturazione : 1.1 W/m²K**  
**g dopo la ristrutturazione : 0.6**

## INVOLUCRO EDIFICIO - Strategia di risanamento

La semplice geometria dell'edificio consente l'isolamento esterno conservando i tratti caratteristici. I caratteristici telai in pietra artificiale delle finestre sono sostituiti da elementi in calcestruzzo coibentato in fibra di vetro.

Lo strato isolante esistente del tetto sarà rimosso e sostituito con un nuovo strato isolante di 260 mm per un valore U totale dopo la ristrutturazione di 0.11 W/m²K.

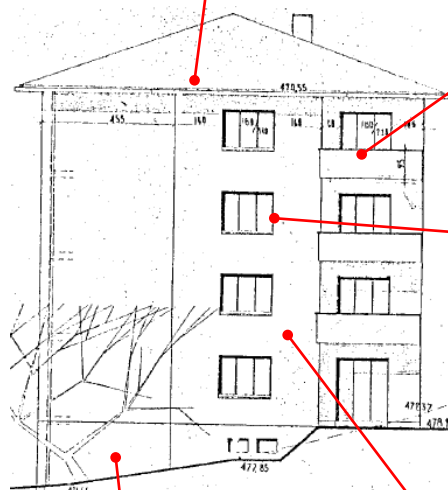
La parete esterna degli appartamenti sarà dotata di uno strato isolante aggiuntivo di 160 mm all'esterno, mentre le pareti esterne dei balconi saranno isolate esternamente con uno strato di 100 mm. Tutte le finestre saranno sostituite con finestre a doppio vetro e telaio in legno.

Poiché il piano terra dell'edificio è occupato da locali tecnici e appartamenti, il soffitto della cantina sarà isolato con uno strato di 120 mm per raggiungere un valore U di 0.31 W/m²K.

**Sottotetto\***



**Balconi\***



**Finestra degli appartamenti\***



**Soffitto cantina\***



**Parete esterna\***

\* stato attuale (prima della ristrutturazione)



CONCETTO ENERGETICO - Definizione delle varianti di riscaldamento

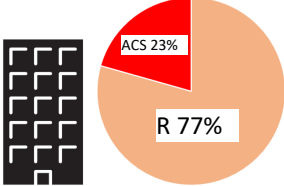
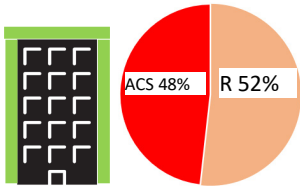
Per ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> dell'impianto di riscaldamento esistente per il riscaldamento degli ambienti (R) e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sono state studiate due varianti:

- Pompa di calore aria-acqua (PdC-Aria): la preparazione di R e ACS è coperta da una pompa di calore aria-acqua;
- Pompa di calore terra-acqua (PdC-Geo): la preparazione di R e ACS è coperta da una pompa di calore terra-acqua.

Le due varianti sono state prese in considerazione per entrambi gli stati dell'involucro edilizio (cioè non ristrutturato e riqualificato).

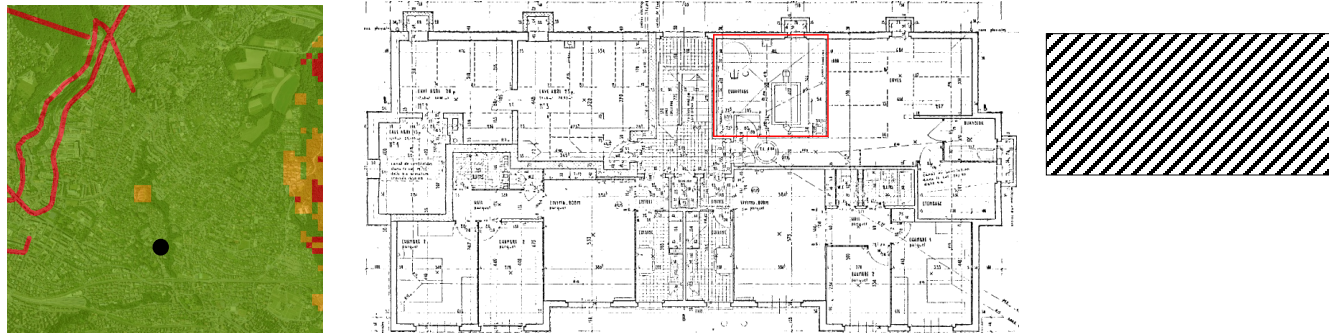
Per tutte le varianti, viene presa in considerazione la sostituzione dei radiatori esistenti con nuovi radiatori ed è stata impostata la temperatura dell'acqua di mandata per il riscaldamento in base allo stato dell'involucro dell'edificio.

Poiché la rete di teleriscaldamento non è presente in quest'area, questa opzione non è stata considerata come variante di riscaldamento in questa analisi. I dettagli sulle diverse varianti di riscaldamento sono descritti nell'allegato. La scelta delle varianti di riscaldamento è il risultato di una discussione preliminare con i partner di progetto.

	Involucro edificio non riqualificato R / ACS [kWh/m²a]: 90 / 27		Involucro edificio riqualificato SH / DHW [kWh/m²a]: 29 / 27	
				
Variante di riscaldamento	PdC-Aria	PdC-Geo	PdC-Aria	PdC-Geo
COP <sub>nom</sub> /Capacità <sub>nom</sub> pompa di calore*	4.2 / 2 x 39 kW (a A2/W35)	4.3 / 67 kW (a B0/W35)	4.2 / 30 kW (a A2/W35)	4.3 / 36 kW (a B0/W35)
Numero e lunghezza delle sonde geotermiche	-	8 x 240 m	-	4 x 240 m
Volume accumulatori per ACS/R	1000 l / 2000 l	1000 l / 2000 l	1000 l / 1500 l	1000 l / 1500 l
Fabbisogno di energia elettrica (kWh/m²a)**	43	36	18	14

\* dati dalle schede tecniche dei prodotti PdC reali proposti dal partner di progetto

\*\* Fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (pompe di calore + pompe di circolazione)



L'edificio (punto nero) si trova in un'area (area verde nella foto) in cui è consentita la perforazione di sonde. Per questo motivo, si è deciso di considerare le pompe di calore geotermiche come possibile variante di riscaldamento per l'edificio in analisi.

Un aspetto cruciale per le varianti PdC-Aria e PdC-Geo è il posizionamento dell'evaporatore (per PdC-Aria) e delle sonde geotermiche (per PdC-Geo). Insieme al partner di progetto, si è deciso di installare questi componenti esternamente (vedi area tratteggiata) in un'area verde dove sia disponibile spazio sufficiente per tali componenti. In questo modo le unità esterne saranno adiacenti al locale tecnico dove verranno installate le unità interne (vedi riquadro rosso) in cantina.

## Ipotesi

- Incentivi finanziari non considerati;
- I costi per la sostituzione dei radiatori esistenti non sono inclusi;
- Solo il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento è incluso nei costi dell'elettricità;
- Prezzo dell'energia elettrica costante di 0.25 CHF/kWh;
- Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
- Vita media della pompa di calore: 25 anni;
- Analisi temporale di 25 anni.

## Costi di investimento

Involucro edilizio non ristrutturato (solo impianto di riscaldamento)

- PdC-Aria: 270 kCHF (183 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 390 kCHF (264 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato (impianto di riscaldamento più involucro edilizio)

- PdC-Aria: 1.52 MCHF (1030 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 1.60 MCHF (1085 CHF/m<sup>2</sup>)

## Elettricità / Costi operative annui

Involucro edilizio non ristrutturato

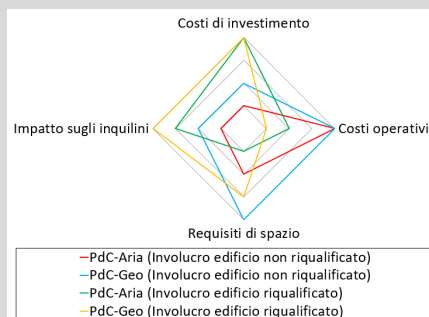
- PdC-Aria: 16 kCHF (11 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 13 kCHF (9 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato

- PdC-Aria: 6 kCHF (4 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 5 kCHF (3 CHF/m<sup>2</sup>)

## Grafico radar per il confronto delle varianti di riscaldamento

La variante PdC-Aria (per involucro edilizio non ristrutturato) è la variante con i costi di investimento iniziale più bassi e i costi operativi più elevati. Poiché le varianti PdC-Aria richiedono all'esterno solo l'installazione dell'evaporatore, l'ingombro è inferiore rispetto alla variante PdC-Geo, dove sono necessarie anche le sonde geotermiche.

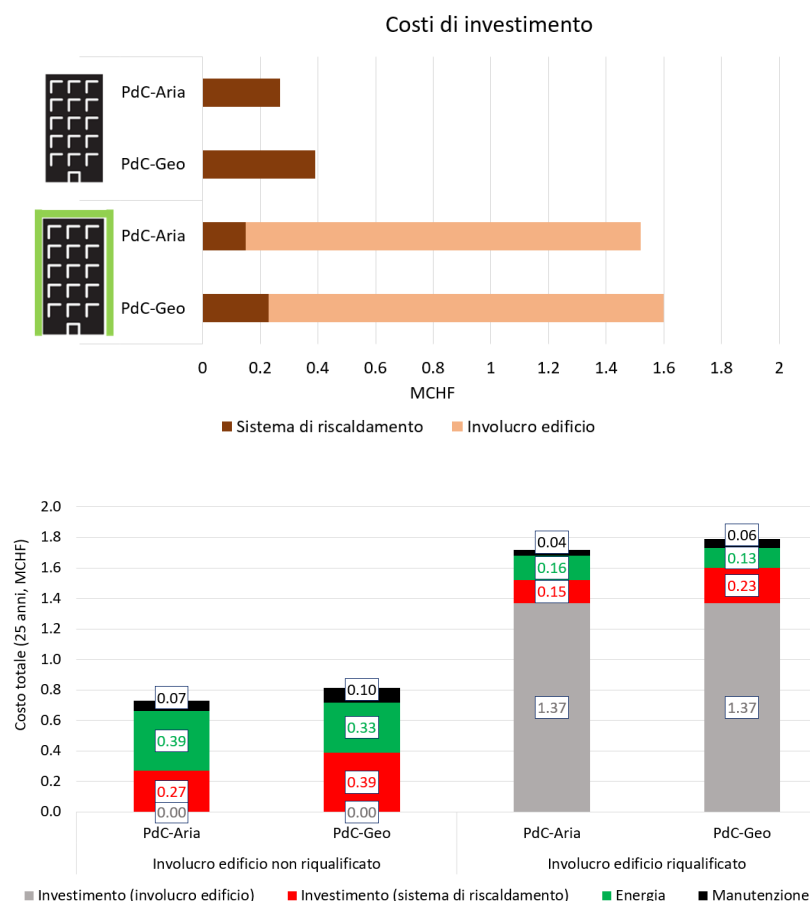


## ANALISI ECONOMICA

Per confrontare tutte le varianti analizzate, è stata eseguita un'analisi economica su un arco temporale di 25 anni. Il primo diagramma seguente mostra per ciascuna variante i costi totali di investimento, mentre il secondo diagramma mostra i costi totali (sui 25 anni) per investimento, energia e manutenzione.

Se l'involucro dell'edificio non viene ristrutturato, i costi di investimento per l'impianto di riscaldamento sono più elevati (circa il 40% in più) rispetto al caso in cui l'involucro dell'edificio venga ristrutturato. In caso di involucro edilizio ristrutturato, i costi di investimento per il risanamento dell'involucro edilizio rappresentano circa l'85 - 90 % dei costi totali di investimento. I costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio si basano su ipotesi approssimative e sono soggetti a grandi incertezze.

Nell'arco dei 25 anni, le varianti PdC-Aria e PdC-Geo hanno costi totali comparabili con circa 0.8 MCHF (se l'involucro dell'edificio non viene ristrutturato) e 1.8 MCHF (in caso di involucro edilizio ristrutturato).



## RACCOMANDAZIONE

Indipendentemente dal fatto che l'involucro dell'edificio venga ristrutturato, i costi totali dimostrano che le varianti PdC-Aria e PdC-Geo hanno costi totali comparabili. Nel caso in cui venga effettuato un risanamento energetico dell'involucro edilizio, il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio e i costi operativi si riducono, anche se i costi totali sono più elevati. Ulteriori vantaggi della ristrutturazione dell'involucro dell'edificio saranno un maggiore comfort termico per gli abitanti e una minore domanda di elettricità della pompa di calore durante l'inverno, quando si prevede che i prezzi dell'elettricità possano essere più alti in futuro. I maggiori costi di investimento della variante PdC-Geo sono in parte compensati dai suoi minori costi operativi rispetto alla variante PdC-Aria, con costi totali comparabili per entrambe le varianti. Se si considerano il carico della rete elettrica e i costi per l'energia elettrica acquistata, il COP più elevato del PdC-Geo porta ulteriori vantaggi rispetto alla variante PdC-Aria, in quanto si caratterizzerà per una minore domanda di elettricità durante l'inverno. D'altra parte, la variante PdC-Aria è caratterizzata da un minore fabbisogno di spazio e da una bassa complessità del sistema. È importante sottolineare che le valutazioni dei costi si basano su ipotesi approssimative che sono soggette a grandi incertezze.

# Allegato

## Simulazione di edifici – Input e ipotesi

Per valutare il fabbisogno annuo di riscaldamento degli ambienti dell'edificio, è stato utilizzato lo strumento di simulazione dinamica multizona IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Entrambi i casi (cioè con e senza ristrutturazione dell'involucro edilizio) sono stati modellati e simulati. Sono stati selezionati i dati climatici di Pully (SIA 2028), mentre i dati della norma nazionale SIA 2024 sono stati utilizzati per la modellazione degli apporti termici interni dell'edificio (persone, illuminazione ed elettrodomestici). È stata scelta una temperatura di set point di 22 °C con sistema di riscaldamento «ideale». Per l'intero edificio è stato ipotizzato un tasso di infiltrazione d'aria costante di 0.5 h<sup>-1</sup>. Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulla domanda di acqua calda sanitaria dell'edificio, sono state fatte ipotesi basate sulle norme nazionali e sull'esperienza.

## Analisi economica – Input e ipotesi

Per confrontare le diverse varianti, è stata eseguita un'analisi economica. La valutazione dei costi di investimento (per ogni variante di riscaldamento e per la ristrutturazione dell'involucro edilizio) è stata effettuata con gli input dei partner di progetto e degli architetti. Nei costi di investimento per l'impianto di riscaldamento, il costo per la sostituzione dei radiatori non è stato considerato. L'analisi economica è stata eseguita ipotizzando una durata di 25 anni. Sono stati considerati un prezzo costante dell'energia elettrica di 0.25 CHF/kWh e un costo per la manutenzione pari all'1%/anno dei costi di investimento. Nella valutazione dei costi dell'energia elettrica, non sono stati considerati i consumi di energia elettrica per illuminazione e gli elettrodomestici dell'edificio. Non sono state prese in considerazione le sovvenzioni finanziarie (per la ristrutturazione dell'involucro edilizio o l'installazione di sistemi a pompa di calore).

## Simulazione varianti di riscaldamento – Descrizione e controlli

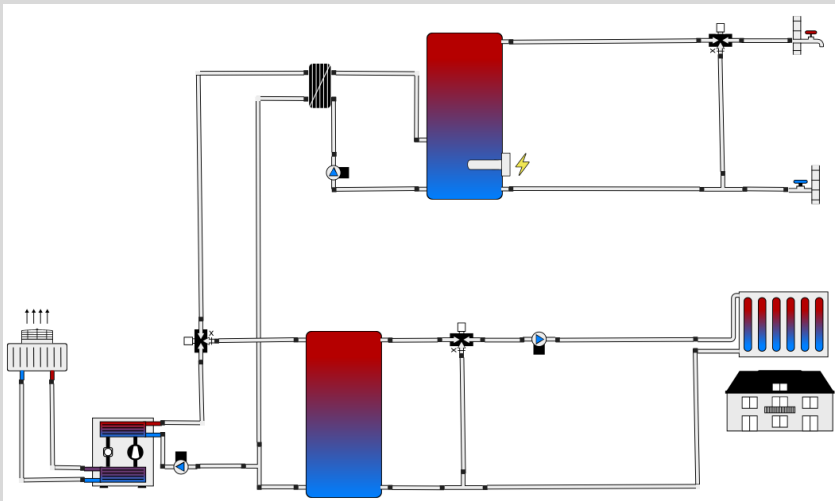
Le diverse varianti di riscaldamento sono state modellate con l'ausilio del software POLYSUN. Le diverse varianti di riscaldamento, definite e modellate insieme ai partner di progetto, sono rappresentate schematicamente a destra.

L'impianto è dotato di un accumulo per ACS da 1000 l e di un secondo accumulo per il riscaldamento degli ambienti da 2000 l (1500 l in caso di involucro edilizio ristrutturato). L'impianto di riscaldamento è dotato di una valvola a tre vie per l'attivazione della pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti o la preparazione di ACS (l'ACS ha sempre la priorità rispetto al riscaldamento degli ambienti).

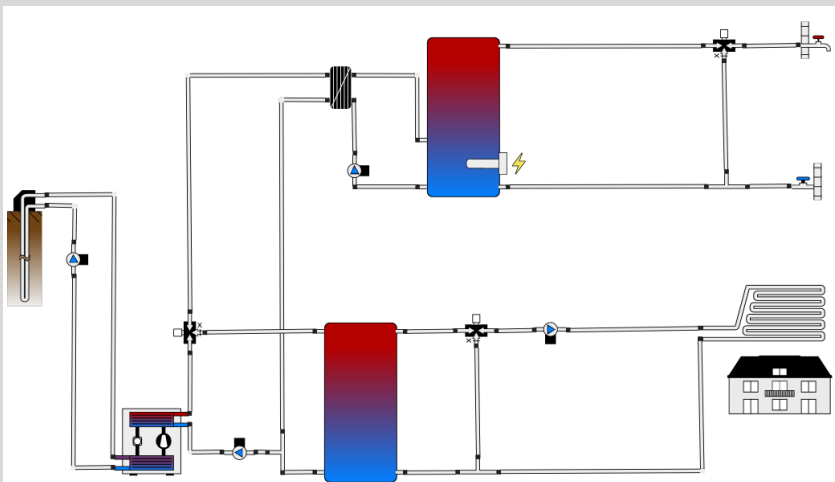
La temperatura di valore nominale per il riscaldamento degli ambienti si basa su una curva di riscaldamento (40 °C con una temperatura esterna di -8 °C in caso di involucro edilizio ristrutturato) in funzione della temperatura ambiente. La temperatura dell'acqua di mandata è aumentata di 20 K in caso di involucro edilizio non ristrutturato.

### Schemi delle varianti di riscaldamento

#### Variante PdC-Aria (pompa di calore aria-acqua)



#### Variante PdC-Geo (Pompa di calore geotermica)





## Sistemi a pompa di calore per edifici plurifamiliari esistenti

### Caso di studio 3 - Grande complesso immobiliare degli anni '60

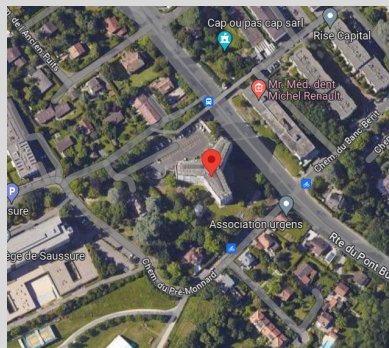
#### CARATTERISTICHE

L'edificio, situato nel comune di Lancy (nel cantone di Ginevra), è un grande complesso immobiliare degli anni '60. E' caratterizzato da una forma atipica e da un uso misto (uffici ai primi due piani ed appartamenti agli altri otto piani). L'edificio, alto 41 m, dispone di 105 appartamenti e 14 uffici. Al piano terra si trova una biblioteca pubblica. Le facciate continue (finestre e parapetti) in costruzione metallica del primo e del secondo piano sono già state sostituite negli ultimi anni, così come la facciata vetrata della biblioteca.

L'attuale impianto di riscaldamento, installato al piano interrato dell'edificio, è costituito da due caldaie a gas a condensazione (2 x 609 kW) che producono energia per il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria. Entrambe le caldaie sono collegate a un grande serbatoio di accumulo. Dal serbatoio di accumulo, il calore viene distribuito a tutto l'edificio attraverso tre distributori principali. L'impianto è dotato di due serbatoi aggiuntivi per l'acqua calda sanitaria (ciascuno con un volume di 1 m<sup>3</sup>). L'energia per il riscaldamento degli ambienti viene fornita attraverso radiatori monotubo installati sotto le finestre.



#### Descrizione



Anno di costruzione	1963
Ubicazione	Lancy (cantone Ginevra)
Area di riferimento energetico	13860 m <sup>2</sup>
Categoria edificio (SIA 380/1)	Residenziale (86%), Amministrazione (14%)
Fabbisogno di riscaldamento degli ambienti calcolato	1005 MWh/a (72 kWh/m <sup>2</sup> a)
Fabbisogno di acqua calda sanitaria calcolato	261 MWh/a (19 kWh/m <sup>2</sup> a)
Impianto di riscaldamento	Caldaia a gas a condensazione
Erogazione di calore	Radiatori

#### Tetto

Tetto piano in calcestruzzo con isolamento, impermeabilizzazione bituminosa e rivestito in ghiaia

#### Attico

#### Parete esterna

Finestre in legno-metallo e parapetti prefabbricati in cemento

#### Appartamenti

Otto piani sono destinati agli appartamenti

#### Uffici

Primo e secondo piano occupati da uffici

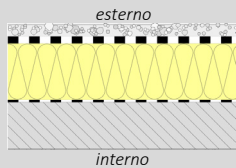
#### Uso misto

Biblioteca comunale situata al piano terra

## Tetto

U prima della ristrutturazione : 0.72 W/m<sup>2</sup>K

U dopo la ristrutturazione : 0.14 W/m<sup>2</sup>K



Ghiaia (50 mm)

Impermeabilizzazione (30 mm)

Isolamento EPS (240 mm)

Barriera al vapore (10 mm)

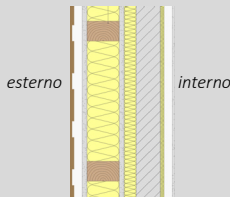
Calcestruzzo (200 mm)

Gesso (5 mm)

## Parete esterna

U prima della ristrutturazione : 0.98 W/m<sup>2</sup>K

U dopo la ristrutturazione : 0.14 W/m<sup>2</sup>K



Rivestimento (20 mm)

Sottostruttura (40 mm)

Barriera antivento (0 mm)

Fermacell (25 mm)

Isol. lana minerale / struttura in legno (160 mm)

Fermacell (25 mm)

Isol. lana minerale (60 mm)

Calcestruzzo (120 mm)

Isol. lana minerale (20 mm)

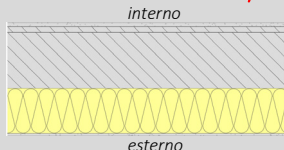
Aria (40 mm)

Gesso (15 mm)

## Soletta verso esterno

U prima della ristrutturazione : 2.10 W/m<sup>2</sup>K

U dopo la ristrutturazione : 0.18 W/m<sup>2</sup>K



Parquet (15 mm)

Massetto cementizio (20 mm)

Calcestruzzo (200 mm)

Isol. lana minerale (160 mm)

Gesso (10 mm)

## Soletta verso ambiente non riscaldato

U prima della ristrutturazione : 2.10 W/m<sup>2</sup>K

U dopo la ristrutturazione : 0.18 W/m<sup>2</sup>K



Tappeto (10 mm)

Massetto cementizio (60 mm)

Isolante EPS (40 mm)

Calcestruzzo (200 mm)

Isol. lana minerale (120 mm)

Gesso (10 mm)

## Finestra degli appartamenti

U<sub>w</sub> prima della ristrutturazione : 2.9 W/m<sup>2</sup>K

g prima della ristrutturazione : 0.8

U<sub>w</sub> dopo la ristrutturazione : 1.1 W/m<sup>2</sup>K

g dopo la ristrutturazione : 0.5

## INVOLUCRO EDILIZIO - Strategia di ristrutturazione

Negli anni passati sono stati ristrutturati solo i primi due piani con la sostituzione del rivestimento della facciata continua. Al fine di ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio, è necessario riqualificare il tetto, i parapetti delle finestre e le pareti dei piani da 3 a 8 e le solette verso l'esterno o locali non riscaldati. La struttura esistente della copertura sarà ulteriormente isolata con 240 mm di EPS (protetto da uno strato impermeabilizzante) e ricoperta di ghiaia per un valore U totale dopo la ristrutturazione di 0.14 W/m<sup>2</sup>K. La parete esterna sarà isolata con un ulteriore modulo prefabbricato costituito da una struttura in legno e da un isolamento totale di circa 220 mm di lana minerale, incapsulato in pannello di fibra di gesso Fermacell per l'ignifugazione, e che integra nuove finestre con un valore U di 1.1 W/m<sup>2</sup>K. Le superfici orizzontali verso l'esterno o locali non riscaldati saranno ulteriormente isolati con lana minerale (rispettivamente 160 mm e 120 mm) per raggiungere un valore U di 0.18 W/m<sup>2</sup>K. Le stratigrafie delle costruzioni dell'involucro prima (solo gli strati in nero) e dopo la ristrutturazione (tutti gli strati) sono mostrate a sinistra.

### Tetto\*



### Parete esterna degli appartamenti\*



### Finestre degli appartamenti\*



### Soffitto cantina\*



### Soletta verso esterno\*

\*Stato attuale (prima della ristrutturazione)



# CONCETTO ENERGETICO - Definizione delle varianti di riscaldamento

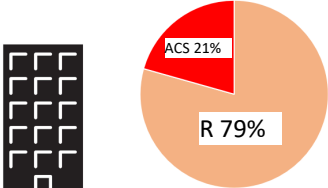
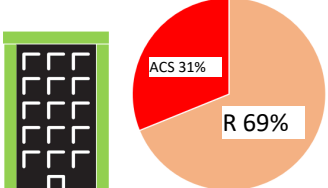
Per ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> dell'impianto di riscaldamento esistente per il riscaldamento degli ambienti (R) e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sono state studiate tre varianti:

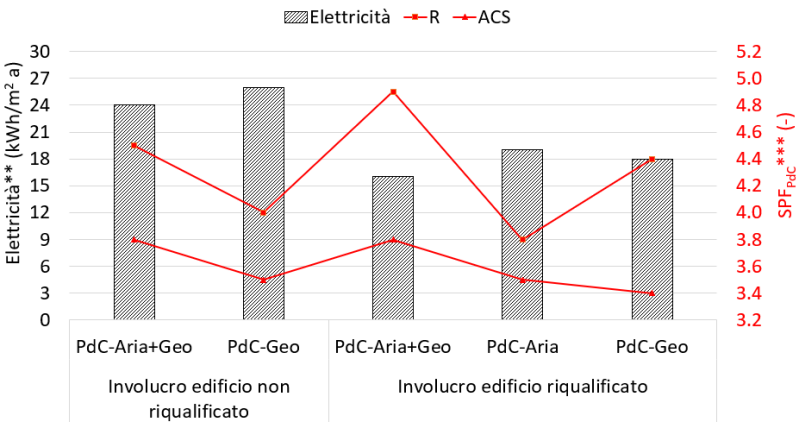
- Pompa di calore aria-acqua + terra (PdC-Aria+Geo): l'acqua calda sanitaria e il riscaldamento sono coperte da due pompe di calore separate. Come fonte di calore, un refrigeratore ad aria è installato in serie con le sonde geotermiche. Il refrigeratore ad aria può essere utilizzato in estate per la rigenerazione delle sonde;
- Pompa di calore aria-acqua (PdC-Aria): R e ACS sono coperti da due pompe di calore aria-acqua;
- Pompa di calore terra-acqua (PdC-Geo): l'acqua calda sanitaria ed il riscaldamento sono coperte da due pompe di calore terra-acqua.

Le due varianti di riscaldamento PdC-Aria+Geo e PdC-Geo sono state definite per due casi: involucro edilizio non ristrutturato e ristrutturato. La variante PdC-Aria è stata presa in considerazione solo nel caso in cui l'involucro dell'edificio venga ristrutturato. In tutte le varianti è stata presa in considerazione la sostituzione dei radiatori esistenti con nuovi radiatori ed è stata impostata la temperatura dell'acqua di mandata in base allo stato dell'involucro dell'edificio.

Per tutte le varianti è stata presa in considerazione una pompa di calore che utilizza CO<sub>2</sub> (R744) come refrigerante. Questo refrigerante ha molti aspetti positivi (bassa tossicità, refrigerante naturale, GWP = 1), ma la temperatura di ritorno (cioè la temperatura di ingresso al condensatore) deve essere sufficientemente bassa (uguale o inferiore a 35°C) affinché la pompa di calore possa funzionare in modo efficiente.

Il teleriscaldamento non è stato considerato come variante in questa analisi. I dettagli sulle diverse varianti di riscaldamento sono descritti nell'allegato.

	Involucro edilizio non ristrutturato R/ ACS [kWh/m <sup>2</sup> a]: 72 / 19		Involucro edilizio ristrutturato R/ACS [kWh/m <sup>2</sup> a]: 42 / 19		
					
Variante di riscaldamento	PdC-Aria+Geo	PdC-Geo	PdC-Aria+Geo	PdC-Aria	PdC-Geo
COP PdC*	3.0 (a B0/A60)	3.0 (a B0/A60)	3.3 (a B0/A55)	2.2 (a A-4/A55)	3.3 (a B0/A55)
Capacità PdC*	2 x 260 kW (37 W/m <sup>2</sup> )	2 x 260 kW (37 W/m <sup>2</sup> )	2 x 175 kW (25 W/m <sup>2</sup> )	2 x 175 kW (25 W/m <sup>2</sup> )	2 x 175 kW (25 W/m <sup>2</sup> )
Sonde geotermiche	40 x 300 m (0.9 m/m <sup>2</sup> )	100 x 300m (2.2 m/m <sup>2</sup> )	30 x 300 m (0.6 m/m <sup>2</sup> )	-	50 x 300 m (1.1 m/m <sup>2</sup> )
Unità di raffreddamento ad aria	500 kW (36 W/m <sup>2</sup> )	-	240 kW (17 W/m <sup>2</sup> )	240 kW (17 W/m <sup>2</sup> )	-
Fabbisogno di energia elettrica (kWh/m <sup>2</sup> a)**	24	26	16	19	18



\* dati dalle schede tecniche dei prodotti PdC reali

\*\* Fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (pompe di calore + pompe di circolazione)

\*\*\* Fattore di rendimento stagionale della PdC ( $Q_{cond} / Q_{el,compr}$ )



- Ipotesi**
- Incentivi finanziari non considerati;
  - I costi per la sostituzione dei radiatori esistenti sono inclusi nell'analisi (541 kCHF);
  - Solo il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento è incluso nei costi dell'elettricità;
  - Vita media della pompa di calore: 25 anni
  - Prezzo dell'energia elettrica costante di 0.25 CHF/kWh;
  - Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
  - Analisi temporale di 25 anni.

#### Costi di investimento delle varianti

Involucro edilizio non ristrutturato (solo impianto di riscaldamento)

- PdC-Aria+Geo: 2.9 MCHF (212 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 4.2 MCHF (306 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato (impianto di riscaldamento più involucro edilizio)

- PdC-Aria+Geo: 13.3 MCHF (962 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Aria: 12.7 MCHF (919 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 13.6 MCHF (984 CHF/m<sup>2</sup>)

#### Costi operativi annui

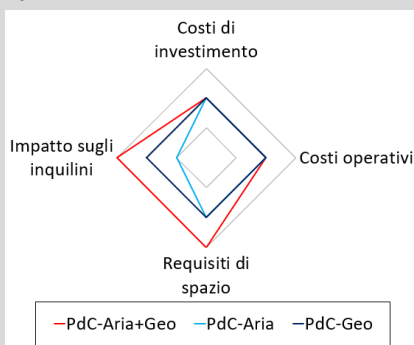
Involucro edilizio non ristrutturato

- PdC-Aria+Geo: 82 kCHF (5.9 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 89 kCHF (6.4 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato

- PdC-Aria+Geo: 56 kCHF (4.1 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Aria: 65 kCHF (4.7 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Geo: 62 kCHF (4.4 CHF/m<sup>2</sup>)

**Grafico radar per il confronto delle varianti di riscaldamento (Caso: involucro edilizio ristrutturato):** Poiché i costi sono soggetti a grandi incertezze e la differenza dei costi è inferiore al 15%, le tre varianti hanno la stessa scala di punti nel grafico radar. Poiché non è necessaria la perforazione per le sonde geotermiche, la variante PdC-Aria ha il minor impatto sul sito sugli inquilini rispetto alle altre due varianti.

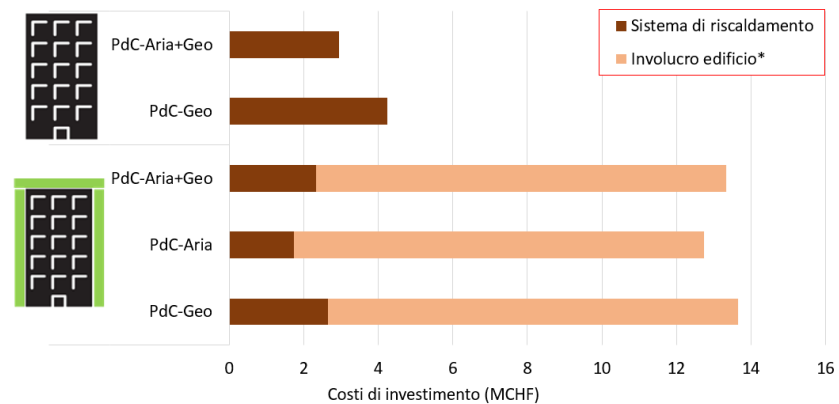


## ANALISI ECONOMICA

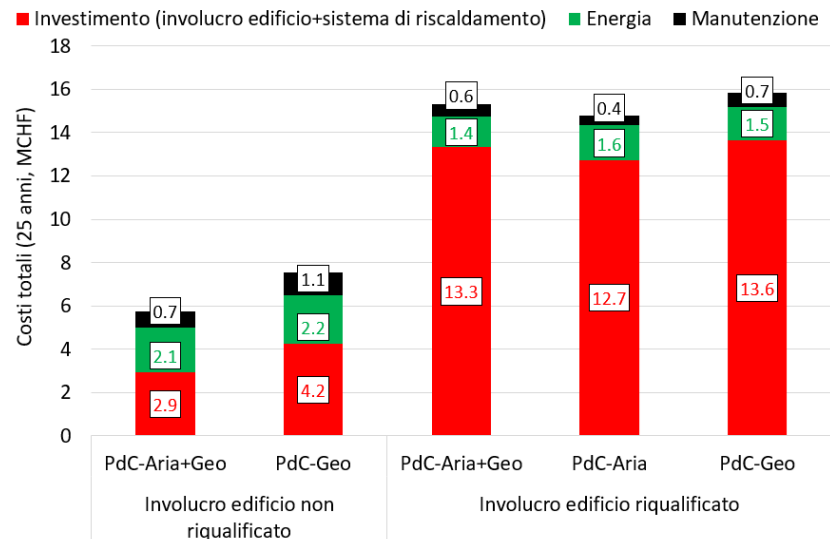
Al fine di confrontare tutte le varianti analizzate, è stata eseguita un'analisi economica su un arco temporale di 25 anni. Il primo diagramma seguente mostra i costi totali di investimento per ciascuna variante, mentre il secondo diagramma mostra i costi totali (sui 25 anni) per investimento, energia e manutenzione.

Come previsto, se l'involucro dell'edificio non viene ristrutturato, i costi di investimento per l'impianto di riscaldamento sono più elevati a causa delle pompe di calore più grandi e del maggior numero di sonde geotermiche. Nel caso dell'involucro edilizio ristrutturato, i costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio rappresentano circa l'80-85% dei costi totali di investimento. È importante sottolineare che in questo caso i costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio si basano su ipotesi approssimative e sono soggetti a grandi incertezze.

In 25 anni, la variante PdC-Aria+Geo (in caso di involucro edilizio non ristrutturato) ha i costi totali più bassi con 5.7 MCHF.



\* I costi per i pannelli FV non sono inclusi



## RACCOMANDAZIONE

Nel caso in cui l'involucro dell'edificio non venga ristrutturato, la variante PdC-Aria+Geo rappresenta l'opzione finanziaria più interessante, come mostrano i diagrammi sopra. Nel caso in cui l'involucro dell'edificio venga ristrutturato, i costi totali stimati in 25 anni sono molto simili per le tre varianti analizzate. Nel caso in cui venga effettuato un risanamento energetico dell'involucro edilizio, il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio e i costi operativi dell'impianto di riscaldamento si riducono, anche se i costi totali sono più elevati. Ulteriori vantaggi della ristrutturazione dell'involucro dell'edificio sono un maggiore comfort termico per gli abitanti e una minore domanda di elettricità della pompa di calore durante l'inverno, quando si prevede che i prezzi dell'elettricità saranno più alti in futuro. È importante sottolineare che le valutazioni dei costi si basano su ipotesi approssimative e che sono soggette a grandi incertezze.

Simulazione di edifici – Input e ipotesi

Per valutare il fabbisogno annuo di riscaldamento degli ambienti dell'edificio, è stato utilizzato lo strumento di simulazione dinamica multizona IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Entrambi i casi (cioè con e senza ristrutturazione dell'involucro edilizio) sono stati modellati e simulati. Sono stati selezionati i dati climatici di Ginevra-Cointrin (SIA 2028), mentre i dati della norma nazionale SIA 2024 sono stati utilizzati per la modellazione dei guadagni di calore interni dell'edificio (persone, illuminazione ed elettrodomestici). È stata scelta una temperatura di set point di 22 °C con sistema di riscaldamento "ideale". Per l'intero edificio è stato ipotizzato un tasso di infiltrazione d'aria costante di 0.5 h<sup>-1</sup>. Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulla domanda di acqua calda sanitaria dell'edificio, sono state fatte ipotesi basate sulle norme nazionali e sull'esperienza.

Simulazione varianti di riscaldamento – Descrizione e controlli

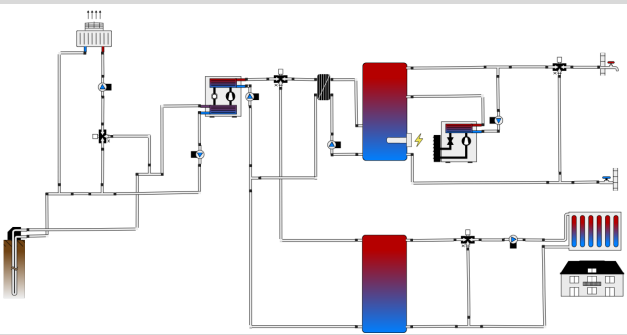
Le diverse varianti di riscaldamento sono state modellate con l'aiuto del software POLYSUN. Le diverse varianti di riscaldamento, definite e modellate insieme ai partner di progetto, sono rappresentate schematicamente a destra. È importante notare che, a causa delle limitazioni nella modellazione dello strumento di simulazione, sono state necessarie semplificazioni per modellare le varianti proposte. Ciò significa che ci sono alcune differenze tra i modelli in POLYSUN e gli schemi di impianto definiti insieme ai progettisti. Le semplificazioni riguardano, ad esempio, il numero delle pompe di calore (due in parallelo nella realtà, una nei modelli), il numero di accumulatori per l'acqua calda sanitaria (due nella realtà, uno nei modelli), ma anche la modellazione delle pompe di calore con CO<sub>2</sub> come refrigerante. In tutte e tre le varianti simulate, una pompa di calore fornisce energia per il riscaldamento degli ambienti e la preparazione dell'acqua calda sanitaria. Una pompa di calore a circolazione (sempre attivata) da 10 kW è in grado di coprire le perdite di circolazione dell'impianto. L'impianto di riscaldamento è dotato di due accumulatori per l'acqua calda sanitaria (8 m<sup>3</sup>) e per il riscaldamento degli ambienti (6 m<sup>3</sup>). A differenza delle varianti PdC-Aria e PdC-Geo (che utilizzano una sola fonte di calore), la variante PdC-Aria+Geo è dotata di un raffreddatore d'aria che può essere utilizzato anche per la rigenerazione delle sonde geotermiche. Ogni accumulatore è dotato di sensori di temperatura per controllare l'accensione e lo spegnimento delle due pompe di calore. La temperatura di setpoint per il riscaldamento degli ambienti si basa su una curva di riscaldamento (55 °C con una temperatura esterna di -5 °C) in funzione della temperatura ambiente. Il setpoint viene aumentato di 10 K nel caso in cui l'involucro dell'edificio non venga rinnovato.

Analisi economica – Input e ipotesi

Per confrontare le diverse varianti, è stata eseguita un'analisi economica. La valutazione dei costi di investimento (per ogni variante di riscaldamento e per la ristrutturazione dell'involucro edilizio) è stata effettuata con gli input dei partner di progetto e degli architetti. L'analisi economica è stata eseguita ipotizzando una durata di 25 anni. Sono stati considerati un prezzo costante dell'energia elettrica di 0.25 CHF/kWh e un costo per la manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento. Nella valutazione dei costi dell'energia elettrica, il consumo di elettricità per illuminazione e gli elettrodomestici dell'edificio non è stato preso in considerazione. Non sono state prese in considerazione le sovvenzioni finanziarie (per la ristrutturazione dell'involucro edilizio o l'installazione di sistemi a pompa di calore).

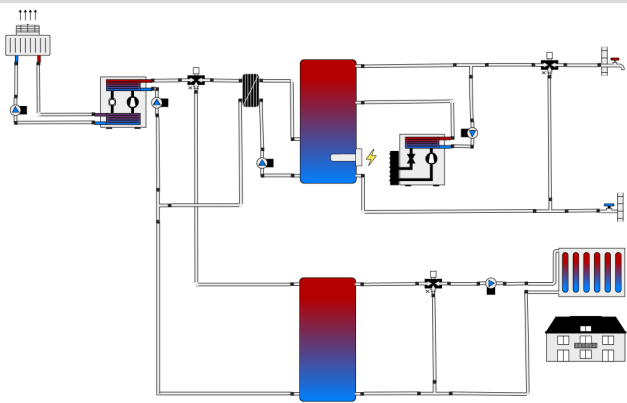
Schemi varianti di riscaldamento

Variante PdC-Aria+Geo (Pompa di calore aria+geotermica)

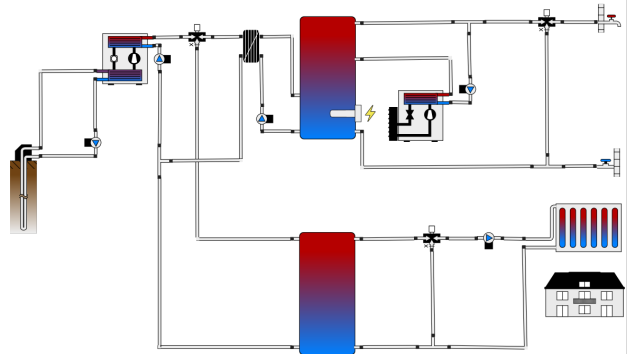


*In questa variante, il calore può essere estratto dall'aria ambiente (con un raffreddatore ad aria) e/o dal terreno. I due principali vantaggi di un tale sistema sono la riduzione dei costi di investimento per le sonde e la possibilità di utilizzare l'aria ambiente come fonte di calore, soprattutto in estate quando la temperatura esterna è più elevata. Inoltre, il raffreddatore d'aria può essere utilizzato per rigenerare le sonde. Quando la temperatura ambiente è superiore alla temperatura di uscita della salamoia dal campo della sonda geotermica, il circuito di rigenerazione può essere attivato e il calore dell'aria può essere rilasciato nelle sonde.*

Variante PdC-Aria (pompa di calore aria-acqua)



Variante PdC-Geo (Pompa di calore geotermica)



*A causa dell'estrazione di calore durante la stagione invernale, la temperatura del suolo diminuisce nel corso degli anni. Secondo la norma nazionale SIA 384/6, è necessaria una simulazione di 50 anni per calcolare la temperatura media minima del fluido termovettore (che deve essere superiore a -1.5 °C). Tramite il software POLYSUN, è stato possibile dimensionare la lunghezza e il numero di sonde geotermiche per le varianti PdC-Aria+Geo e PdC-Geo per soddisfare i requisiti delle norme.*

## Sistemi a pompa di calore per edifici plurifamiliari esistenti

### Caso di studio 4 - Condominio degli anni '70

#### CARATTERISTICHE

L'edificio si trova nella campagna del canton San Gallo e, con i suoi dieci piani, rappresenta un tipico condominio degli anni '70. L'edificio dispone di trenta appartamenti (tre appartamenti per ogni piano) con balconi sul lato est e ovest.

Il tetto e le pareti esterne sono realizzati in cemento armato con uno strato isolante rispettivamente di 6 cm e 2 cm. Le finestre sono costituite da telai in legno con doppi vetri per un valore U totale di 1.4 W/m<sup>2</sup>K. Le tende a rullo con cassonetti interni fungono da protezione solare.

L'attuale impianto di riscaldamento è costituito da una caldaia a gasolio con una potenza di 240 kW che produce calore per il riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria. L'energia per il riscaldamento degli ambienti viene fornita attraverso i radiatori.

#### Descrizione



Anno di costruzione	1971
Ubicazione	Uznach (canton San Gallo)
Area di riferimento energetico	3150 m <sup>2</sup>
Categoria edificio (SIA 380/1)	Residenziale
Fabbisogno di riscaldamento degli ambienti calcolato	276 MWh/a (88 kWh/m <sup>2</sup> a)
Fabbisogno di acqua calda sanitaria calcolato	60 MWh/a (19 kWh/m <sup>2</sup> a)
Impianto di riscaldamento	Caldaia a gasolio
Erogazione di calore	Radiatori



#### Tetto

Tetto piano in calcestruzzo con 6 cm di isolamento (foglio di PVC come rivestimento del tetto)

#### Finestra

Telaio in legno, doppi vetri

#### Protezione solare

Tende a rullo con cassonetto interno

#### Parete esterna

Costruzione in cemento armato con 2 cm di isolamento

#### Area esterna

Loggia sul lato est e ovest



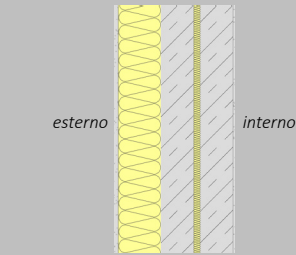
INVOLUCRO EDILIZIO - Strategia di ristrutturazione

Al fine di ridurre il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio, è necessario risanare le superfici esterne esistenti (ad esempio, tetto, pareti e finestre). La semplice geometria dell'edificio consente l'isolamento esterno conservando i tratti caratteristici.

Sul tetto lo strato isolante esistente (di 60 mm) viene rimosso e sostituito con uno strato isolante più spesso di 100 mm per diminuire il valore U della costruzione.

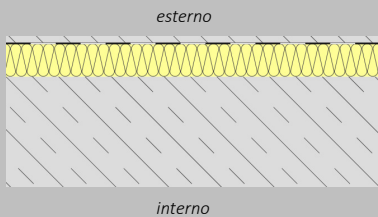
Poiché le pareti esterne sono costruite con una struttura a sandwich (calcestruzzo/isolamento/calcestruzzo), lo strato isolante esistente viene mantenuto. In aggiunta, un nuovo strato isolante di 120 mm viene posizionato all'esterno della parete per raggiungere un valore U di 0.28 W/ m²K. Tutte le finestre vengono sostituite con finestre a doppio vetro con telaio in legno con un valore U che passa dal valore 1.4 W/m²K al valore 0.9 W/ m²K.

**Parete esterna**  
U prima della ristrutturazione: 1.32 W/m²K  
U dopo la ristrutturazione: 0.28 W/m²K



Gesso (10 mm)  
Isolamento (120 mm)  
Cemento armato (100 mm)  
Isolamento (20 mm)  
Cemento armato (100 mm)  
Gesso (10 mm)

**Tetto**  
U prima della ristrutturazione: 0.46 W/m²K  
U dopo la ristrutturazione: 0.19 W/m²K



Tegole  
Film in PVC  
Isolamento (60 mm) (rimosso)  
Isolamento (100 mm)  
Cemento armato (250 mm)

**Finestra**  
U<sub>g</sub> prima della ristrutturazione: 1.5 W/m²K  
U<sub>f</sub> prima della ristrutturazione: 1.2 W/m²K  
g prima della ristrutturazione: 0.80  
U<sub>g</sub> dopo la ristrutturazione: 0.7 W/m²K  
U<sub>f</sub> dopo la ristrutturazione: 2.0 W/m²K  
g dopo la ristrutturazione: 0.45

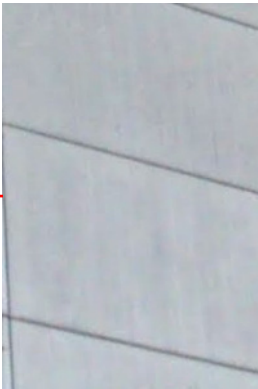
Tetto\*



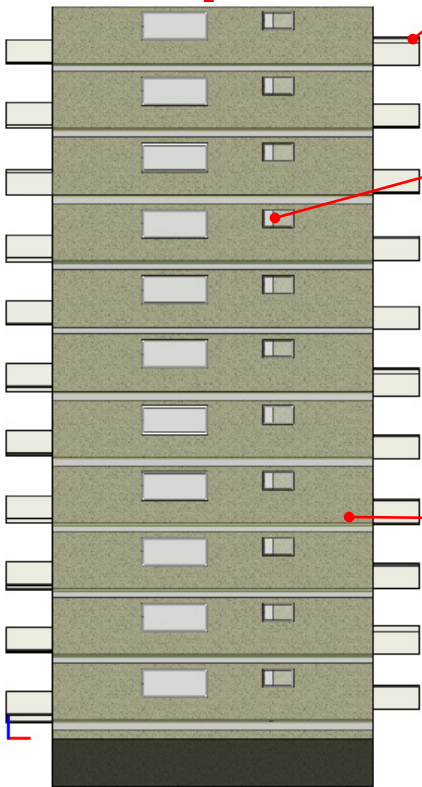
Loggia\*



Finestra degli appartamenti\*



Parete esterna\*



\*Stato attuale (prima della ristrutturazione)

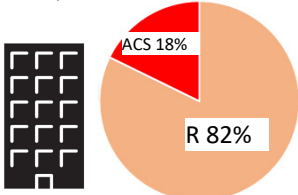
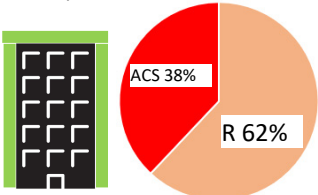
CONCETTO ENERGETICO - Definizione delle varianti di riscaldamento

Per ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> dell'impianto di riscaldamento esistente per il riscaldamento degli ambienti (R) e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sono state studiate due varianti:

- Pompa di calore aria-acqua (PdC-Aria): l'acqua calda sanitaria ed il riscaldamento sono coperti da una pompa di calore aria-acqua;
- Pompa di calore terra-acqua (PdC-Geo): R e ACS sono coperti da una pompa di calore geotermica.

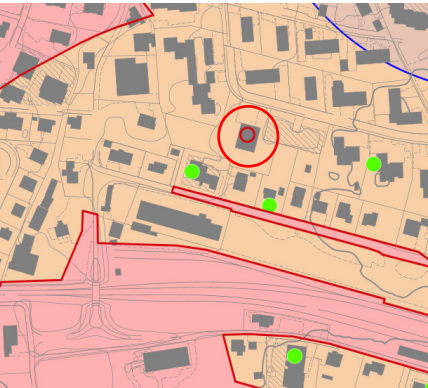
La variante PdC-Aria è stata presa in considerazione solo nel caso in cui l'involucro edilizio venga ristrutturato, mentre la variante PdC-Geo viene considerata per entrambi i casi (ossia non ristrutturato e rinnovato).

In tutte le varianti, i radiatori esistenti vengono sostituiti con nuovi radiatori e la temperatura dell'acqua di mandata viene impostata in base allo stato dell'involucro dell'edificio. Poiché in quest'area non è presente una rete di teleriscaldamento, questa opzione non è stata considerata come variante di riscaldamento. I dettagli sulle diverse varianti di riscaldamento sono descritti nell'allegato. La scelta delle varianti di riscaldamento è il risultato di una discussione preliminare con i partner di progetto.

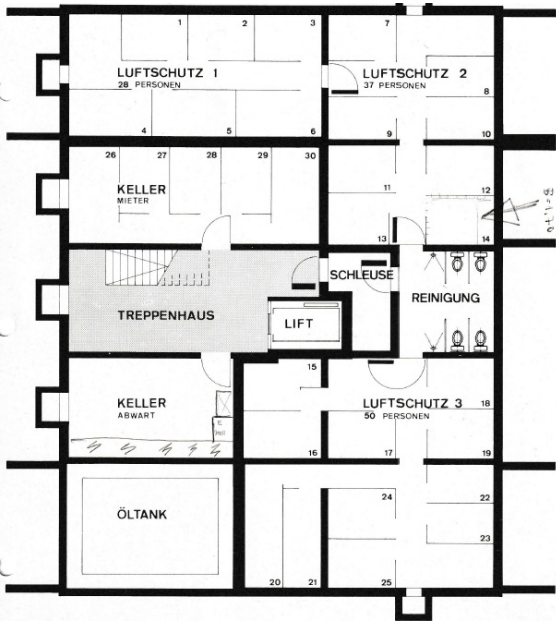
	Involucro edilizio non ristrutturato R / ACS [kWh/m²a]: 88 / 19	Involucro edilizio ristrutturato R / ACS [kWh/m²a]: 31 / 19	
			
Variante di riscaldamento	PdC-Geo	PdC-Geo	PdC-Aria
COP <sub>nom</sub> /Capacità <sub>nom</sub> pompa di calore*	4.7 / 100 kW (a B0/A35)	4.7 / 64 kW (a B0/A35)	4.2 / 71 kW (a A2/A35)
Numero e lunghezza delle sonde geotermiche	18 x 200 m	9 x 200 m	-
Volume accumulatori ACS/R	2000 l / 3500 l	2000 l / 3500 l	2000 l / 3500 l
Fabbisogno di energia elettrica (kWh/m²a)**	33.5	13.3	14.2

\* dati dalle schede tecniche dei prodotti reali PdC proposti dai partner di progetto

\*\* Fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (pompe di calore + pompe di circolazione)



L'edificio (cerchiato in rosso) si trova in un'area (zona arancione nella foto) dove la perforazione geotermica è sostanzialmente consentita, previa un'analisi idrogeologico preliminare. Alcuni campi geotermici (punti verdi) sono già presenti nell'area. Per questo motivo, si è deciso di considerare le pompe di calore geotermiche come possibile variante di riscaldamento per l'edificio in analisi.



Un aspetto cruciale per la variante PdC-Aria è il posizionamento dell'unità esterna, ossia l'evaporatore della pompa di calore. Insieme al partner di progetto, si è deciso di installare questo componente in un'area verde dove è disponibile spazio sufficiente (vedi punto nero). In questo modo le unità esterne saranno adiacenti al locale tecnico dove verranno installate le unità interne della pompa di calore.



- Ipotesi**
- Sovvenzioni finanziarie non considerate;
  - I costi per la sostituzione dei radiatori esistenti non sono inclusi;
  - Solo il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento è incluso nei costi dell'elettricità;
  - Prezzo dell'energia elettrica costante di 0.25 CHF/kWh;
  - Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
  - Vita media della pompa di calore: 25 anni;
  - Analisi temporale di 25 anni.

**Costi di investimento delle varianti**  
 Involucro edilizio non ristrutturato (solo impianto di riscaldamento)

- PdC-Geo: 540 kCHF (171 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato (impianto di riscaldamento più involucro edilizio)

- PdC-Geo : 3.5 MCHF (1108 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Aria: 3.3 MCHF (1063 CHF/m<sup>2</sup>)

**Elettricità / Costi operative annui**  
 Involucro edilizio non ristrutturato

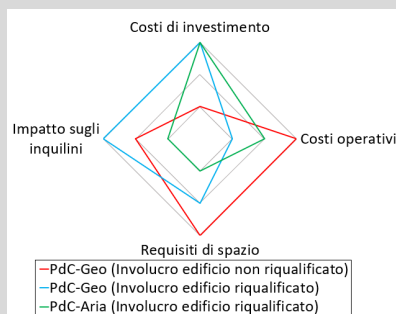
- PdC-Geo : 26 kCHF (8 CHF/m<sup>2</sup>)

Involucro edilizio ristrutturato

- PdC-Geo : 10 kCHF (3 CHF/m<sup>2</sup>)
- PdC-Aria: 11 kCHF (4 CHF/m<sup>2</sup>)

### Grafico radar per il confronto delle varianti di riscaldamento:

La variante PdC-Geo per l'involucro edilizio non ristrutturato è la variante con i più bassi costi di investimento iniziale e i più alti costi operativi. Poiché le varianti PdC-Aria richiedono solo l'installazione delle unità esterne all'esterno dell'edificio, l'ingombro è inferiore rispetto alle varianti PdC-Geo, dove sono necessarie anche le sonde geotermiche.



## RACCOMANDAZIONE

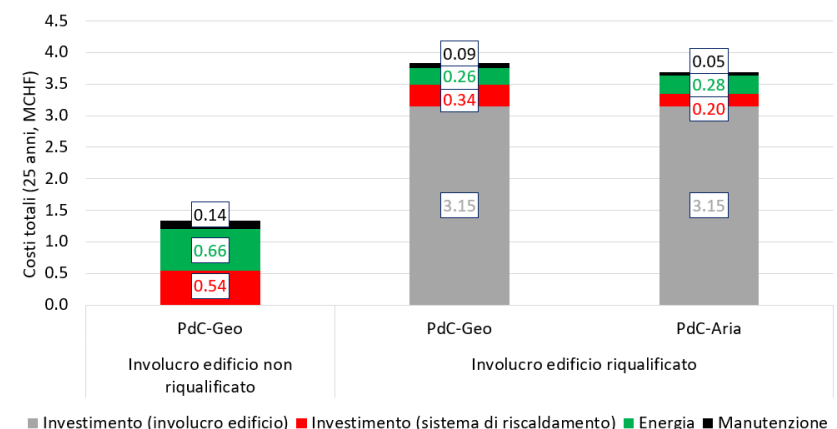
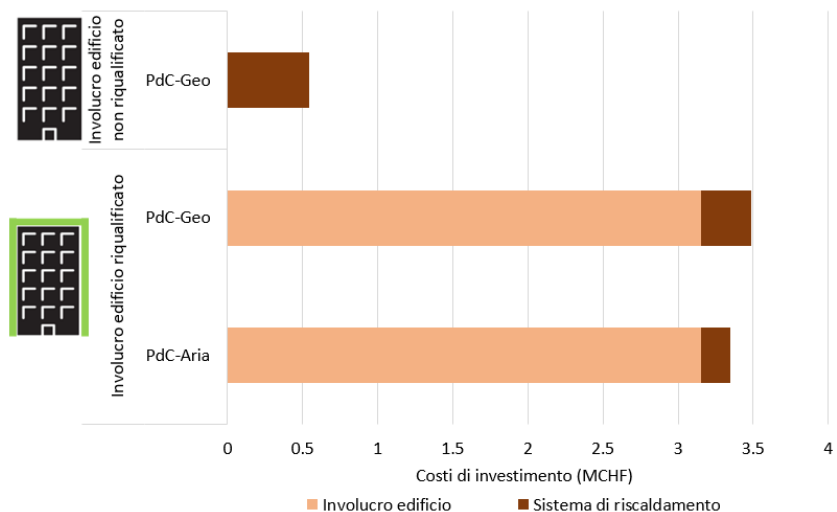
Per il caso non ristrutturato, solo un sistema PdC-Geo è tecnicamente fattibile nel caso in cui si voglia sostituire l'attuale impianto di riscaldamento con un sistema alimentato a energia rinnovabile. Nel caso in cui venga effettuato un risanamento energetico dell'involucro edilizio, il fabbisogno di riscaldamento dell'edificio e i costi operativi dell'impianto di riscaldamento si riducono, anche se i costi totali sono più elevati. Ulteriori vantaggi della ristrutturazione dell'involucro dell'edificio sono un maggiore comfort termico per gli abitanti e una minore domanda di elettricità della pompa di calore durante l'inverno, quando si prevede che i prezzi dell'elettricità saranno più alti in futuro. I maggiori costi di investimento della variante PdC-Geo sono in parte compensati dai suoi minori costi operativi rispetto alla variante PdC-Aria, con costi totali comparabili per entrambe le varianti. Se si considerano il carico della rete elettrica e i costi per l'energia elettrica acquistata, il COP più elevato della variante PdC-Geo porta ulteriori vantaggi rispetto alla variante PdC-Aria, in quanto caratterizzata da una minore domanda di elettricità durante l'inverno. È importante sottolineare che le valutazioni dei costi si basano su ipotesi approssimative che sono soggette a grandi incertezze.

## ANALISI ECONOMICA

Per tutte le varianti è stata eseguita un'analisi economica su un arco temporale di 25 anni. Il primo diagramma seguente mostra per ciascuna variante i costi totali di investimento, mentre il secondo diagramma mostra i costi totali (sui 25 anni) per investimento, energia e manutenzione.

Se l'involucro dell'edificio non viene ristrutturato, i costi di investimento per l'impianto di riscaldamento sono più elevati rispetto al caso in cui l'involucro dell'edificio venga ristrutturato. In caso di involucro edilizio ristrutturato, i costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio rappresentano circa il 90-95% dei costi totali di investimento. È importante sottolineare che in questo caso i costi di investimento per la ristrutturazione dell'involucro edilizio si basano su ipotesi approssimative e sono soggetti a grandi incertezze.

Nell'arco di 25 anni, le varianti PdC-Aria e PdC-Geo hanno costi totali simili (circa 3.8 MCHF) in caso di ristrutturazione dell'involucro dell'edificio.





**Simulazione di edifici – Input e ipotesi**

Per valutare il fabbisogno annuo di riscaldamento degli ambienti dell'edificio, è stato utilizzato lo strumento di simulazione dinamica multizona IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Entrambi i casi (cioè con e senza ristrutturazione dell'involucro edilizio) sono stati modellati e simulati. Sono stati selezionati i dati climatici di Zurigo (SIA 2028), mentre i dati della norma nazionale SIA 2024 sono stati utilizzati per la modellazione degli apporti termici interni dell'edificio (persone, illuminazione ed elettrodomestici). È stata scelta una temperatura di set point di 22 °C con sistema di riscaldamento "ideale". Per l'intero edificio è stato ipotizzato un tasso di infiltrazione d'aria costante di 0.5 h<sup>-1</sup>. Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulla domanda di acqua calda sanitaria dell'edificio, sono state fatte ipotesi basate sulle norme nazionali e sull'esperienza.

**Analisi economica – Input e ipotesi**

La valutazione dei costi di investimento per ogni variante di riscaldamento e per la ristrutturazione dell'involucro edilizio è stata effettuata con i contributi dei partner di progetto e degli architetti. All'interno dei costi di investimento per l'impianto di riscaldamento, non è stato considerato il costo per la sostituzione dei radiatori. L'analisi economica è stata eseguita ipotizzando un arco temporale di 25 anni. Sono stati considerati un prezzo costante dell'energia elettrica di 0.25 CHF/kWh e un costo per la manutenzione pari all'1%/anno dei costi di investimento. Nella valutazione dei costi dell'energia elettrica, non sono stati considerati i consumi di energia elettrica per l'illuminazione e gli elettrodomestici dell'edificio. Non sono state prese in considerazione le sovvenzioni finanziarie (per la ristrutturazione dell'involucro edilizio o l'installazione di sistemi a pompa di calore).

**Simulazione varianti di riscaldamento – Descrizione e controlli**

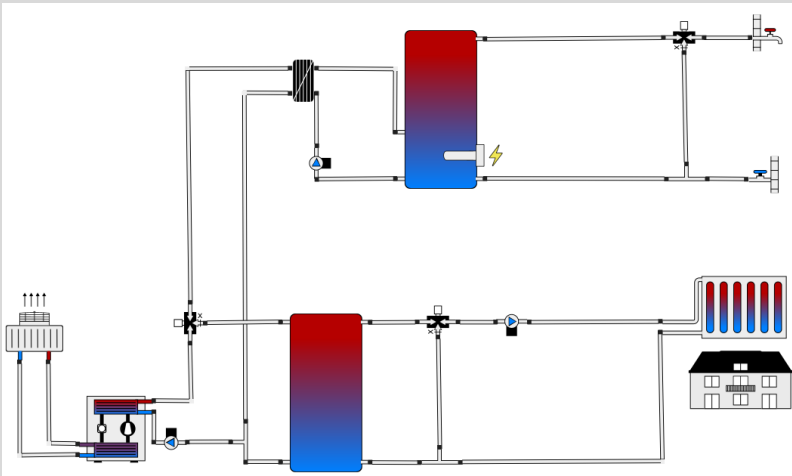
Le diverse varianti di riscaldamento sono state modellate con il software POLYSUN. Le diverse varianti di riscaldamento, definite e modellate insieme ai partner di progetto, sono rappresentate schematicamente a destra.

L'impianto è dotato di un accumulatore per ACS da 2000 l e di un secondo accumulatore per il riscaldamento degli ambienti da 3500 l. Ogni accumulo è dotato di sensori di temperatura per controllare l'accensione e lo spegnimento della pompa di calore. L'impianto di riscaldamento è dotato di una valvola a tre vie per l'attivazione della pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti o la preparazione di ACS (l'ACS ha sempre la priorità rispetto al riscaldamento degli ambienti).

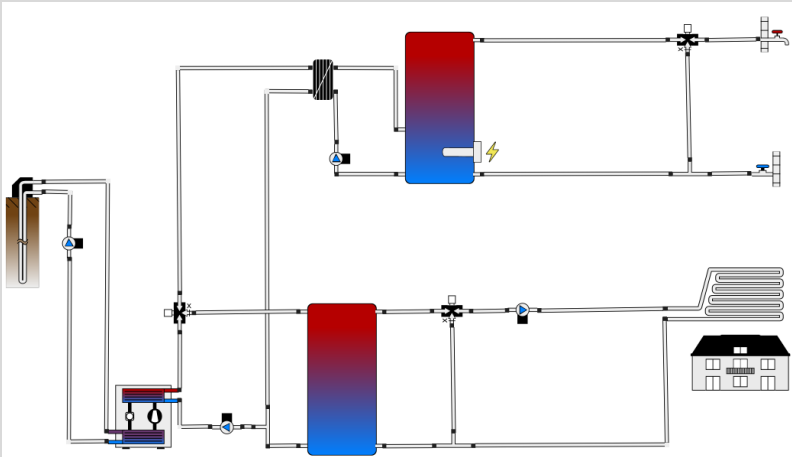
La temperatura di setpoint per il riscaldamento degli ambienti si basa su una curva di riscaldamento (40 °C per una temperatura esterna di -8 °C in caso di involucro edilizio ristrutturato) in funzione della temperatura ambiente. La temperatura dell'acqua di mandata è aumentata di 20 K in caso di involucro edilizio non ristrutturato.

**Schemi delle varianti di riscaldamento**

Variante PdC-Aria (Pompa di calore aria-acqua)



Variante PdC-Geo (Pompa di calore geotermica)

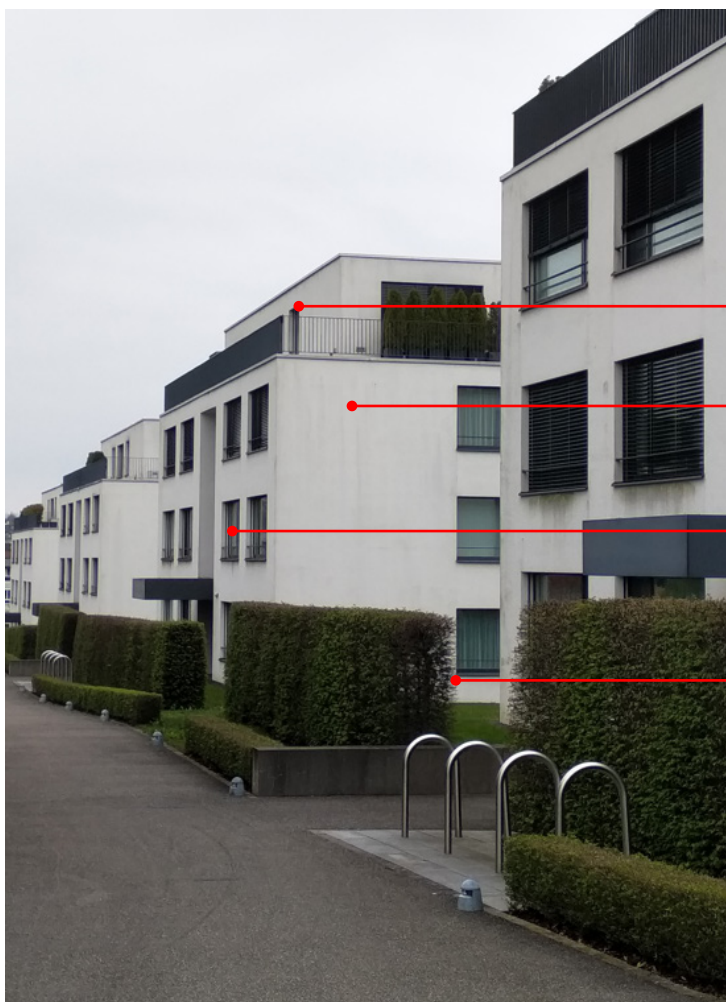


## Sistemi a pompa di calore per edifici plurifamiliari esistenti

### Caso di studio 5 - Complesso edilizio di cinque case plurifamiliari

#### CARATTERISTICHE

Il complesso edilizio di cinque case plurifamiliari, situato nel comune di Stäfa (nel canton Zurigo), è un'edilizia residenziale degli anni 2000. Ognuno dei cinque edifici è caratterizzato da tre piani più un attico per un totale di sette appartamenti (35 per l'intero complesso). Ogni edificio dispone di giardino invernale sul lato sud. L'involucro edilizio è in buono stato con pareti esterne coibentate con 14 cm di EPS e finestre con doppi vetri con veneziane esterne. Il complesso edilizio è riscaldato con impianti decentralizzati (installati al piano interrato di ciascuno dei cinque edifici), ciascuno costituito da una caldaia a gas (41 kW) che produce energia per il riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria. L'energia per il riscaldamento degli ambienti viene fornita attraverso un sistema radiante a pavimento. Ogni locale tecnico è dotato di un serbatoio di accumulo da 400 l per l'acqua calda sanitaria.



#### Descrizione



Anno di costruzione	2006
Ubicazione	Stäfa (canton Zurigo)
Area di riferimento energetico	6285 m <sup>2</sup>
Categoria edificio (SIA 380/1)	Residenziale
Fabbisogno di riscaldamento degli ambienti calcolato (R)	220 MWh/a (35 kWh/m <sup>2</sup> a)
Fabbisogno di acqua calda sanitaria (ACS) calcolato	119 MWh/a (19 kWh/m <sup>2</sup> a)
Impianto di riscaldamento	Caldaia a gas
Erogazione di calore	Riscaldamento a pavimento

#### Attico

#### Parete esterna

Pareti in muratura di mattoni con isolamento esterno

#### Finestre esterne

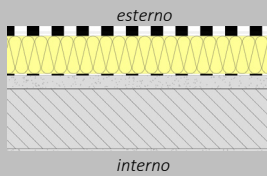
Finestre con doppi vetri e veneziane esterne

#### Appartamenti

Due appartamenti per ogni piano (sette appartamenti per ogni edificio)

## Tetto

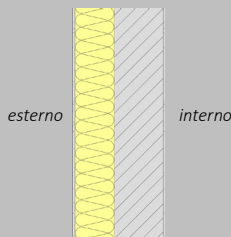
U valore:  $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$



Strato drenante  
Strato di separazione  
Impermeabilizzazione bituminosa (10 mm)  
Pannello in schiuma rigida PU (140 mm)  
Barriera al vapore (5 mm)  
Copertura del pendio (50 mm)  
Cemento armato (220 mm)  
Intonaco interno (10 mm)

## Parete esterna

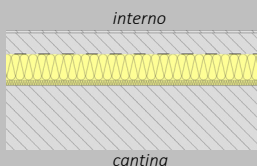
U valore:  $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$



Gesso (10 mm)  
Isolamento EPS (140 mm)  
Muratura in mattoni (175 mm)  
Gesso (10 mm)

## Soletta verso ambienti non riscaldati

U valore:  $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$



Rivestimento del pavimento (10 mm)  
Massetto cementizio (80 mm)  
Pellicola in PE  
Schiuma dura PUR (100 mm)  
Pannello in fibra minerale (20 mm)  
Cemento armato (250 mm)

## Finestra degli appartamenti

Valore  $U_g$ :  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Valore  $U_f$ :  $3.0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rapporto telaio/vetro: 11%

Valore  $g$ : 0.62

## INVOLUCRO EDIFICIO

Questo complesso di cinque case plurifamiliari è stato costruito nel 2006 e quindi è relativamente nuovo. Poiché l'involucro dell'edificio è in buono stato ed efficiente dal punto di vista energetico, la strategia di ristrutturazione dell'involucro dell'edificio non è stata presa in considerazione.

Ognuno dei cinque edifici è composto da tre piani e un attico per un totale di sette appartamenti. Sul lato sud, ogni appartamento dispone di un ampio giardino invernale.

Il tetto piano è realizzato in cemento armato ed è isolato con 14 cm di pannello in schiuma rigida PU con un valore U di  $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Le pareti esterne, con un valore U di  $0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ , sono isolate esternamente con 14 cm di EPS e realizzate in muratura di mattoni.

La soletta verso ambienti non riscaldati, in cemento armato, è isolata con PUR e pannello in fibra minerale (rispettivamente 100 mm e 20 mm) con un valore U di  $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Le stratigrafie delle principali costruzioni sono descritte a sinistra. Le finestre con doppi vetri degli appartamenti, dotate di veneziane esterne, presentano un valore U di  $1.22 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Finestre degli appartamenti



Giardino invernale



Scala e parete esterna



Soffitto cantina

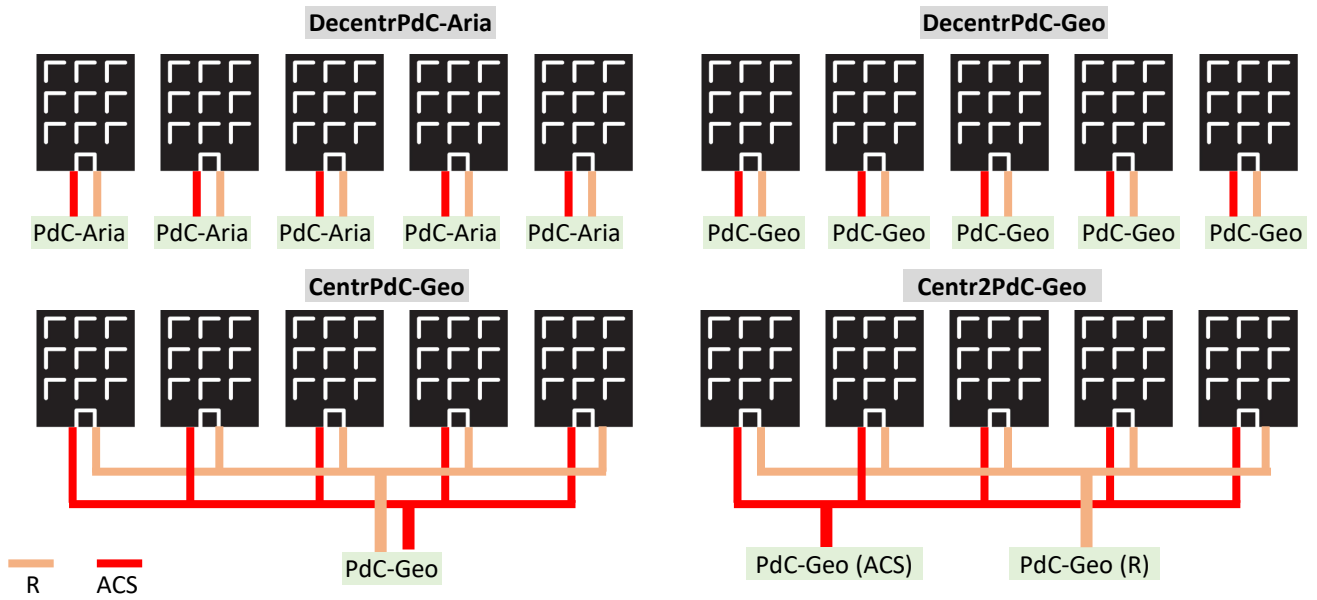


CONCETTO ENERGETICO - Definizione delle varianti di riscaldamento

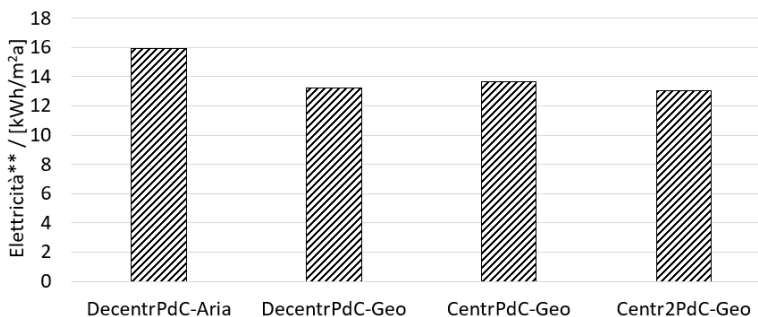
Per ridurre le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> dell'impianto di riscaldamento esistente per il riscaldamento degli ambienti (R) e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), sono state studiate quattro varianti:

- Pompa di calore aria/acqua decentralizzata (DecentrPdC-Aria): R e ACS per ogni edificio sono coperti da una pompa di calore separata. Il complesso edilizio, composto da cinque edifici, avrà cinque pompe di calore;
- Pompa di calore geotermica decentralizzata (DecentrPdC-Geo): R e ACS per ogni edificio sono coperti da una pompa di calore separata con un campo geotermico per ogni edificio;
- Pompa di calore geotermica centralizzata (CentrPdC-Geo): R e ACS per tutti e cinque gli edifici sono coperti da una singola pompa di calore e un unico campo di sonde;
- Pompa di calore geotermica centralizzata con due pompe (Centr2PdC-Geo): Variante della precedente con due pompe di calore, una per il riscaldamento e una per l'acqua calda sanitaria;

In tutte le varianti è stata presa in considerazione l'attuale erogazione di calore (cioè il riscaldamento a pavimento). Poiché il teleriscaldamento non è previsto nel prossimo futuro, non è stato considerato come variante di riscaldamento in questa analisi. I dettagli sulle diverse varianti di riscaldamento sono descritti nell'allegato. La scelta delle varianti di riscaldamento è il risultato di una discussione preliminare con i partner di progetto.



Variante di riscaldamento	DecentrPdC-Aria	DecentrPdC-Geo	CentrPdC-Geo	Centr2PdC-Geo
COP PdC*	3.4 (at A2/W35)	4.2 (at B0/W35)	4.0 (at B0/W35)	R: 3.9 (a B0/W35) ACS: 3.9 (a B0/W35)
Capacità totale PdC*	5 x 43 kW (34 W/m²)	5 x 43 kW (34 W/m²)	2 x 112 kW (36 W/m²)	R: 177 kW (28 W/m²) ACS: 47 kW (7 W/m²)
Sonde geotermiche (totale)	-	30 x 200 m (0.9 m/m²)	30 x 200 m (0.9 m/m²)	30 x 200 m (0.9 m/m²)
SPF <sub>PdC</sub>	3.5	4.3	4.1	R: 4.7 ACS: 3.6
Fabbisogno di energia elettrica (kWh/m²a)**	16	13	14	13



\*dati dalle schede tecniche dei prodotti PdC reali

\*\* Fabbisogno di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (pompe di calore + pompe di circolazione) per i cinque edifici

## Ipotesi

- Incentivi finanziari non considerate;
- Solo il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento è incluso nei costi dell'elettricità;
- Prezzo dell'energia elettrica costante di 0.37 CHF/kWh;
- Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
- Analisi temporale di 25 anni.

## Costi di investimento

Involucro edilizio non ristrutturato (solo impianto di riscaldamento)

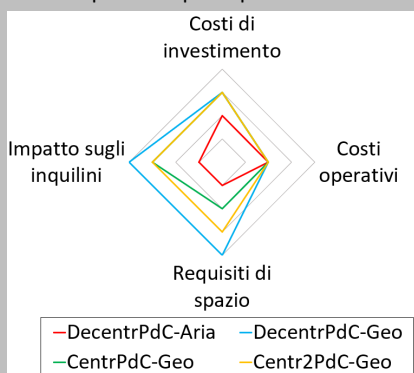
- DecentrPdC-Aria: 530 kCHF (84 CHF/m<sup>2</sup>)
- DecentrPdC-Geo: 1030 kCHF (164 CHF/m<sup>2</sup>)
- CentrPdC-Geo: 920 kCHF (146 CHF/m<sup>2</sup>)
- Centr2PdC-Geo: 910 kCHF (145 CHF/m<sup>2</sup>)

## Costi operative annui

- DecentrPdC-Aria: 37 kCHF (6 CHF/m<sup>2</sup>)
- DecentrPdC-Geo: 31 kCHF (5 CHF/m<sup>2</sup>)
- CentrPdC-Geo: 32 kCHF (5 CHF/m<sup>2</sup>)
- Centr2PdC-Geo: 30 kCHF (5 CHF/m<sup>2</sup>)

## Grafico radar per il confronto delle varianti di riscaldamento:

La variante DecentrPdC-Aria è la variante con i costi di investimento iniziali più bassi (84 CHF/m<sup>2</sup>) e i costi operativi più elevati (6 CHF/m<sup>2</sup>). Poiché non è necessaria la perforazione per le sonde, la variante DecentrPdC-Aria ha il minore impatto del sito sugli inquilini rispetto alle altre tre varianti. Per la valutazione qualitativa dello spazio richiesto è stato considerato lo spazio necessario nel giardino (per le sonde geotermiche) e in cantina per gli impianti di riscaldamento. A causa dei cinque campi geotermici e delle cinque pompe di calore installate nelle cantine degli edifici, la variante DecentrPdC-Geo presenta i requisiti di spazio più elevati.



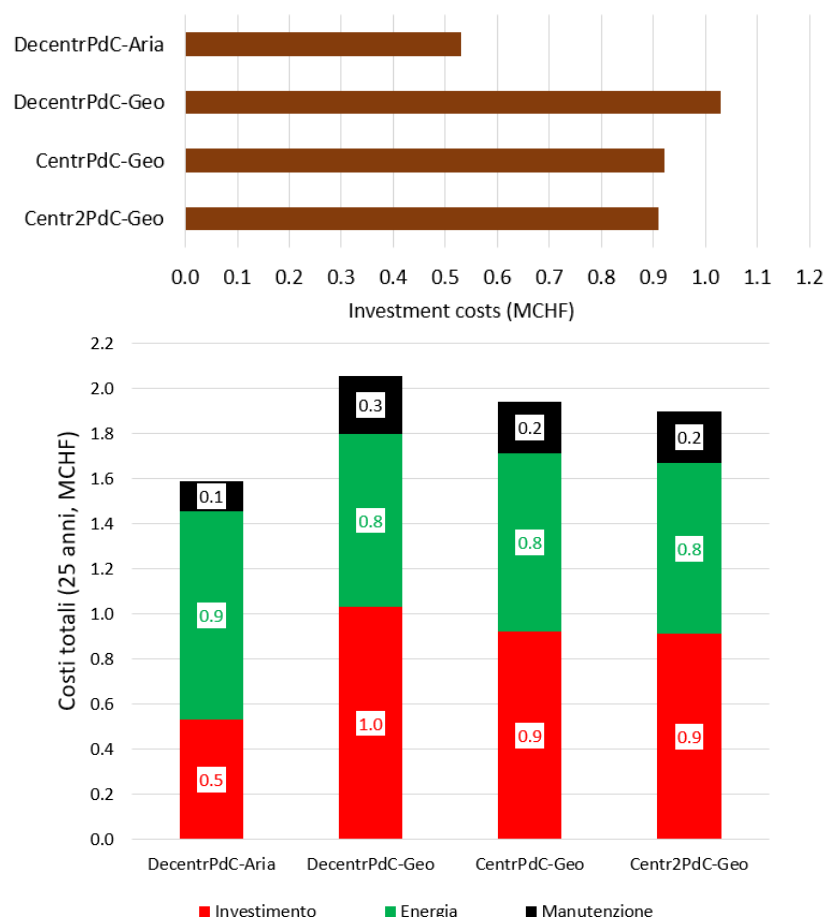
## RACCOMANDAZIONE

I diagrammi sopra mostrano che la variante DecentrPdC-Aria rappresenta l'opzione finanziaria più interessante rispetto alle altre tre varianti analizzate. Come riportato nel grafico radar, la variante DecentrPdC-Aria ha i costi di investimento e l'impatto del sito più bassi sugli inquilini perché, rispetto alle altre varianti, non è necessaria la perforazione per le sonde geotermiche. Le unità esterne delle pompe di calore potrebbero essere posizionate sul lato di ogni edificio in modo da mantenere la superficie del tetto disponibile per l'(eventuale) installazione di pannelli fotovoltaici. D'altra parte, una pompa di calore geotermica ridurrebbe i picchi di elettricità della pompa di calore durante l'inverno e questo aspetto rappresenterebbe un vantaggio per il carico della rete elettrica e i costi dell'elettricità. Si può prevedere che in futuro, durante l'inverno, i prezzi dell'elettricità saranno più alti. Confrontando le varianti PdC-Geo, si può affermare che la soluzione centralizzata è economicamente più interessante (rispetto alla variante DecentrPdC-Geo), ma la collocazione delle grandi pompe di calore nel seminterrato del complesso edilizio potrebbe rappresentare un ostacolo da considerare. È importante sottolineare che le valutazioni dei costi si basano su ipotesi approssimative che sono soggette a grandi incertezze.

## ANALISI ECONOMICA

Al fine di confrontare tutte le varianti analizzate, è stata eseguita un'analisi economica su un arco temporale di 25 anni. Il primo diagramma seguente mostra per ciascuna variante i costi totali di investimento, mentre il secondo diagramma mostra i costi totali (sui 25 anni) per investimento, energia e manutenzione. È importante sottolineare che i costi di investimento si basano su ipotesi approssimative e sono soggetti a forti incertezze. La variante DecentrPdC-Geo, con un costo di investimento totale di circa 1 MCHF, presenta i costi di investimento più elevati, mentre le due varianti con soluzioni centralizzate hanno un costo di investimento totale leggermente inferiore (circa 900 kCHF).

Nell'arco di 25 anni, la variante DecentrPdC-Aria ha i costi totali più bassi con 1.6 MCHF, il 23% in meno rispetto alla variante DecentrPdC-Geo (2.1 MCHF).



Ipotesi

- Incentivi finanziari non considerati;
- Il consumo di energia elettrica dell'impianto di riscaldamento (variante DecentrPdC-Aria) e l'elettricità domestica è incluso nel fabbisogno di energia elettrica;
- Fabbisogno annuo di energia elettrica: 222 MWh/a (impianto di riscaldamento: 100 MWh/a, elettricità domestica: 122 MWh/a);
- Si è ipotizzato un prezzo dell'energia elettrica costante (0.37 CHF/kWh) e una tariffa di immissione FV in rete costante (0.17 CHF/kWh);
- Manutenzione dell'1%/a dei costi di investimento;
- Analisi temporale di 25 anni;
- Time-step simulazione: 1 ora;
- In tutte le varianti sono stati ipotizzati costi di investimento di 1700 CHF/kWp;
- Pannelli fotovoltaici installati solo sul tetto dei cinque edifici (orientamento: sud, inclinazione: 30°) in tutte le varianti.

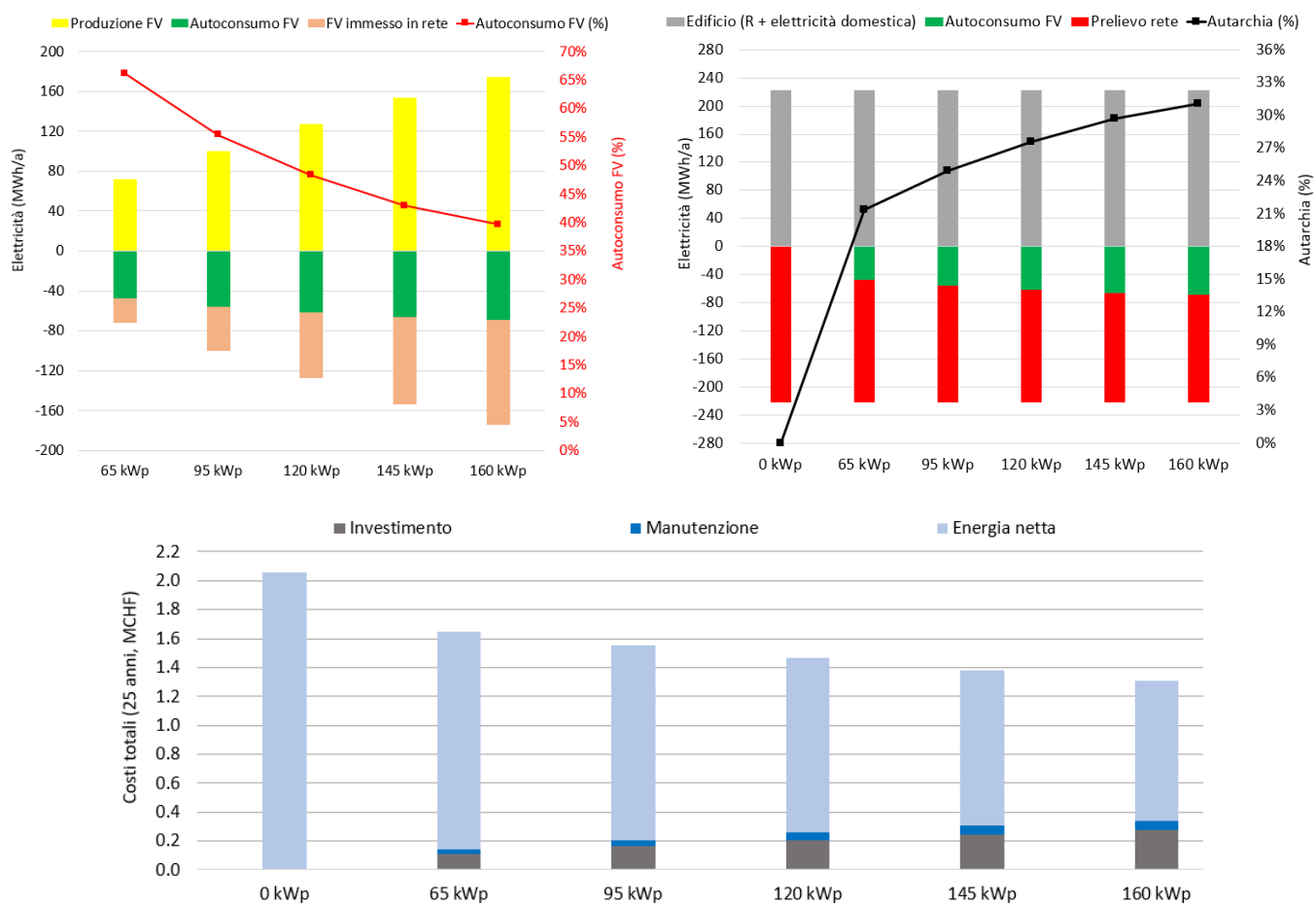
Variante PV	Area PV totale [m²]	Numero di moduli
senza PV	-	-
65 kW <sub>p</sub>	92	54
95 kW <sub>p</sub>	128	75
120 kW <sub>p</sub>	162	95
145 kW <sub>p</sub>	197	115
160 kW <sub>p</sub>	223	130

Studio Fotovoltaico (FV) - Definizione delle varianti e analisi

Sono state definite e confrontate diverse varianti FV al fine di scoprire l'opzione finanziaria più interessante per il complesso edilizio in analisi. Tutte le principali ipotesi dello studio sono elencate a sinistra. In tutte le varianti fotovoltaiche analizzate, è stata presa in considerazione la variante di riscaldamento DecentrPdC-Aria. Sono state definite cinque diverse varianti FV (da 65 kWp a 160 kWp di potenza FV totale installata) e confrontate con il caso senza impianto FV. La variante 160 kWp rappresenta il caso in cui l'intera superficie dei cinque tetti è dotata di pannelli fotovoltaici.

I due diagrammi sottostanti mostrano per ogni variante il bilancio elettrico dell'impianto fotovoltaico e dell'edificio. Con la variante 160 kWp l'impianto fotovoltaico produce circa 170 MWh/a, ovvero il 23% in meno rispetto al fabbisogno totale annuo di energia elettrica dell'edificio (ovvero 222 MWh/a). Con l'aumento della taglia dell'impianto fotovoltaico si ha una riduzione della domanda di energia elettrica dalla rete (fino ad un valore di 150 MWh/a nel caso di 160 kWp) e un aumento del grado di autarchia fino al valore massimo del 31%. La variante 65 kWp ha un autoconsumo FV del 66%. Questo valore scende al 40% nel caso della variante 160 kWp.

Al fine di confrontare economicamente le diverse varianti, per il calcolo dell'energia netta (ossia la differenza tra il costo dell'elettricità acquistata e il guadagno dell'elettricità immessa in rete) sono stati ipotizzati un prezzo dell'energia elettrica costante e una tariffa di immissione in rete costante (rispettivamente 0.37 CHF/kWh e 0.17 CHF/kWh). L'ultimo diagramma seguente mostra che l'opzione finanziaria più interessante è la variante 160 kWp, dove si può ottenere una riduzione dei costi totali del 36% (rispetto all'opzione senza PV).





## Allegato

### Simulazione di edifici – Input e ipotesi

Per valutare il fabbisogno annuo di riscaldamento degli ambienti dell'edificio, è stato utilizzato lo strumento di simulazione dinamica multizona IDA ICE (Indoor Climate and Energy). Sono stati selezionati i dati climatici di Zurigo (SIA 2028), mentre i dati della norma nazionale SIA 2024 sono stati utilizzati per la modellazione degli apporti termici interni dell'edificio (persone, illuminazione ed elettrodomestici). È stata scelta una temperatura di set point di 22 °C con sistema di riscaldamento «ideale». Per l'intero edificio è stato ipotizzato un tasso di infiltrazione d'aria costante di 0.5 h<sup>-1</sup>. Poiché non sono disponibili informazioni dettagliate sulla domanda di acqua calda sanitaria dell'edificio, sono state fatte ipotesi basate sulle norme nazionali e sull'esperienza.

### Simulazione varianti di riscaldamento – Descrizione e controlli

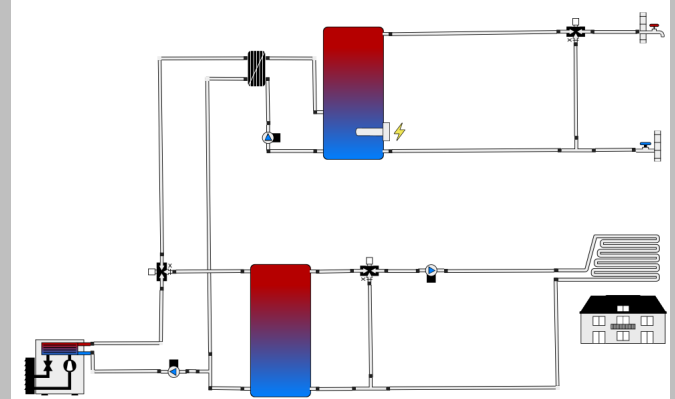
Le diverse varianti di riscaldamento sono state modellate con l'aiuto del software POLYSUN. Le diverse varianti di riscaldamento, definite e modellate insieme ai partner di progetto, sono rappresentate schematicamente a destra. È importante evidenziare che, a causa delle limitazioni nella modellizzazione dello strumento utilizzato, sono state necessarie semplificazioni per modellare tutte le varianti proposte. Nelle prime due varianti (ovvero DecentrPdC-Aria e DecentrPdC-Geo), l'impianto di riscaldamento è dotato di un accumulatore per ACS (1000 l) e riscaldamento (2000 l), mentre nelle altre due varianti gli accumulatori sono più grandi (5 m<sup>3</sup> per ACS e 10 m<sup>3</sup> per ACS) perché l'impianto serve l'intero complesso edilizio. La temperatura di setpoint per il riscaldamento degli ambienti si basa su una curva di riscaldamento (40 °C con una temperatura esterna di -8 °C) in funzione della temperatura ambiente. A differenza delle prime tre varianti, l'ultima variante (cioè Centr2PdC-Geo) è l'unica in cui vengono utilizzati due PdC separate per l'acqua calda sanitaria e il riscaldamento degli ambienti. Le varianti con sonde geotermiche sono state dimensionate (lunghezza e numero di sonde) per soddisfare i requisiti della norma SIA 384/6.

### Analisi economica – Input e ipotesi

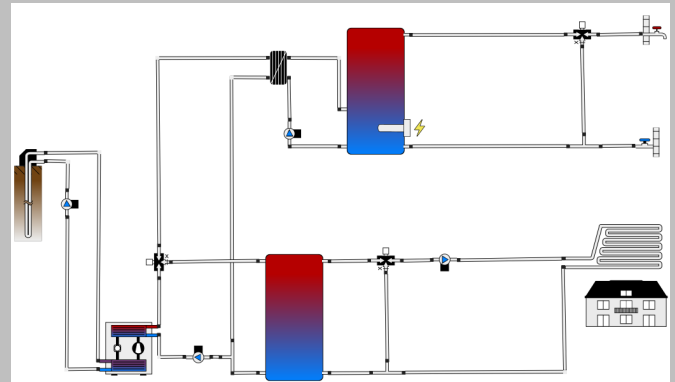
Al fine di confrontare le diverse varianti, è stata eseguita un'analisi economica. La valutazione dei costi di investimento è stata effettuata con il contributo dei partner di progetto e degli architetti. L'analisi economica è stata eseguita ipotizzando una durata di 25 anni. Sono stati considerati un prezzo costante dell'energia elettrica di 0.37 CHF/kWh e un costo per la manutenzione pari all'1%/anno dei costi di investimento. Nella valutazione dei costi dell'elettricità, il consumo di elettricità per l'illuminazione e gli elettrodomestici dell'edificio è stato preso in considerazione solo nello studio fotovoltaico. Non sono state prese in considerazione le sovvenzioni finanziarie (per il fotovoltaico o l'installazione di sistemi a pompa di calore).

## Schemi varianti di riscaldamento

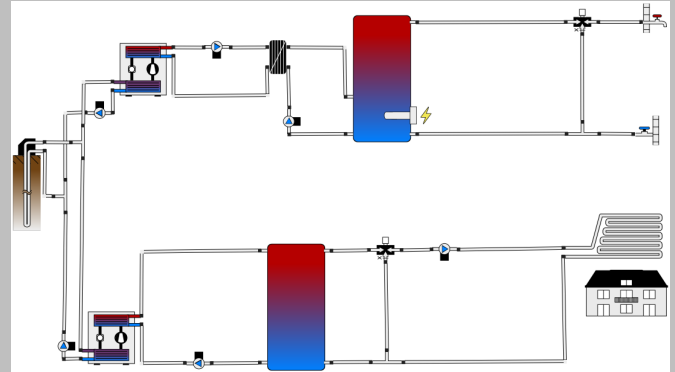
### Variante DecentrPdC-Aria\*



### Variante DecentrPdC-Geo\*\*



### Variante Centr2PdC-Geo



\* In questa variante, ogni sistema di riscaldamento serve un singolo edificio. Ciò significa che, al fine di simulare il sistema per l'intero complesso edilizio, è necessario considerare cinque di questi sistemi. La stessa condizione vale per la seconda variante DecentrPdC-Geo.

\*\* Questo modello potrebbe essere utilizzato anche per la simulazione della variante CentrPdC-Geo (non rappresentata qui) poiché il layout è simile. In questo caso, il modello è stato riadattato (ad esempio, lunghezza delle tubazioni, domanda di R/ACS, volumi di accumulo, potenza della pompa di calore e così via) per tenere conto del fatto che il sistema serve l'intero complesso edilizio.