

# **Il potenziale di recupero di calore dalle acque reflue comunali nel Comune di Kranj nell'ambito del progetto SECAP**

Agosto 2021

Committente:	LEAG, Agenzia Energetica Locale Gorenjska Vecchia strada 5 4000 Kranj
Oggetto:	Predisposizione di uno studio sul potenziale di recupero di calore dalle acque reflue comunali nel Comune di Kranj nell'ambito del progetto SECAP
Tipo di documentazione del progetto:	Studio tecnico
Data e luogo della perizia:	Kranj, Agosto 2021
Esecutore:	Komunala Kranj d.o.o. Via Mirka Vadnova 1 4000 Kranj
Partecipanti all'esecuzione:	Jure Kristan, dipl. ing. VKI Egon Batič, Dipl.-Ing.Chem.Eng. IZS Chartered Engineer Design Technologist (T-0638).  Sereny Jozsef, Dipl.-Ing. in Idromeccanica MKK Chartered Engineer (13-5494, Federazione Ungherese di Ingegneria). Membro della Società Idrologica Ungherese (MHT) e membro dell'Associazione Ungherese delle Acque Reflue (MaSzeSz).

## Indice

1. RIASSUNTO E OBIETTIVO DEL PROGETTO.....	4
Scopo dello studio sul potenziale energetico della rete fognaria.....	4
1.2. Oggetto dell'analisi del progetto.....	5
1.3. Obiettivi del progetto.....	5
1.4. Calendario di attuazione del progetto.....	6
1.5 Risultato dell'analisi economica e finanziaria .....	6
1.6. Fonti di finanziamento del progetto .....	7
1.7 Presentazione agli investitori.....	7
2. PARAMETRI DI INPUT NECESSARI PER IL RISULTATO DEL PROGETTO.....	8
3. POSSIBILI OPZIONI TECNOLOGICHE PER IL RECUPERO DEL CALORE DELLE ACQUE REFLUE .....	9
Presentazione delle potenziali opzioni tecnologiche .....	9
3.2 Potenziali rischi di un progetto energetico per le acque reflue .....	10
Descrizione delle possibili soluzioni tecniche .....	10
3.4. Punti di partenza fondamentali per determinare l'ubicazione e la tecnologia appropriate.....	11
4. L'UBICAZIONE E GLI ASPETTI AMBIENTALI DEL PROGETTO .....	15
4.1. Presentazione dell'opzione tecnologica più potenziale per il sito di Zarica .....	17
4.2. Parametri di ingresso del nuovo edificio del Centro di Economia Circolare Komunala Kranj .....	17
4.3. Caratteristiche di base del sistema selezionato.....	18
5. ANALISI FINANZIARIA.....	19
5.1. Esempio di un edificio di riferimento in Ungheria .....	19
5.2. Analisi costi-benefici .....	20
6. CONCLUSIONE.....	21

## 1. RIASSUNTO E OBIETTIVO DEL PROGETTO

### Scopo dello studio sul potenziale energetico della rete fognaria

Nell'ambito del piano per l'energia sostenibile e il clima per i comuni (TEPN) ossia del progetto SECAP, siamo stati invitati a partecipare dal partner di progetto Agenzia Energetica Locale Gorenjska (LEAG). Grazie alla nostra conoscenza dell'argomento nel campo dello smaltimento delle acque reflue, abbiamo deciso di dimostrare il potenziale energetico dell'acqua di scarico che scorre quotidianamente nella rete fognaria.

L'obiettivo generale del SECAP è quello di promuovere la crescita sostenibile nell'area transfrontaliera promuovendo strategie di riduzione del carbonio per tutti i tipi di aree, specialmente quelle urbane. Nel perseguimento di questo obiettivo saranno promossi i modelli di sviluppo sostenibile che contribuiscono maggiormente al miglioramento della qualità della vita e che hanno il minor impatto sul cambiamento climatico. Il progetto SECAP coinvolge organizzazioni partner della Slovenia e dell'Italia.

Una delle ragioni principali per cui abbiamo deciso di condurre uno studio sul potenziale energetico delle acque reflue nel progetto SECAP è il fatto che le acque reflue hanno una temperatura relativamente costante, indipendentemente dalla stagione. La temperatura varia tra i 10°C e i 15°C a seconda della stagione. Soprattutto in inverno, la temperatura può scendere sotto i 10°C, soprattutto a causa delle precipitazioni o dello scioglimento della neve. Nelle reti fognarie miste questo fenomeno è più frequente, mentre nelle reti fognarie separate l'impatto è trascurabile perché l'acqua piovana viene scaricata separatamente nel canale di scolo.

La maggior parte degli impianti sloveni di trattamento delle acque reflue produce già biogas, che viene utilizzato per generare elettricità negli impianti di cogenerazione. La maggior parte dei più grandi impianti di trattamento delle acque reflue in Slovenia hanno già e usano tali sistemi. Se il sistema di biogas è progettato correttamente, l'elettricità prodotta può rappresentare più di 1/3 dell'elettricità totale necessaria per far funzionare l'impianto di trattamento. Il calore in eccesso viene utilizzato per riscaldare le lagune di fango, soprattutto in inverno.

L'uso del calore dalle acque reflue comunali è un approccio relativamente nuovo all'efficienza energetica, che non è ancora usato o implementato in Slovenia. Sistemi simili si vedono già in alcuni impianti industriali dove le acque reflue vengono utilizzate in modo molto efficiente in circuiti tecnologici chiusi. Si tratta per lo più di vari sistemi di raffreddamento, in cui l'acqua viene riscaldata per raffreddare il sistema e in una fase successiva il calore dell'acqua di raffreddamento viene utilizzato per il riscaldamento degli ambienti tramite uno scambiatore di calore. La motivazione principale per utilizzare le acque reflue industriali in questo modo è che l'azienda ha un minor consumo di acqua potabile e quindi minori costi di utilità (fornitura di acqua potabile e scarico e trattamento delle acque reflue industriali).

Il nostro progetto o studio di fattibilità all'interno del progetto SECAP sarà una delle opzioni per l'efficienza energetica sostenibile delle fonti di energia che non sono ancora registrate come una fonte di energia autonoma soddisfacente. Il nostro obiettivo è quello di dimostrare e mostrare ai partner pubblici e privati che l'uso del calore dalla rete fognaria può contribuire

ad una maggiore efficienza energetica nell'uso dell'energia nella comunità locale e di conseguenza alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

## 1.2. Oggetto dell'analisi del progetto

L'oggetto dell'analisi sarà uno studio di fattibilità sul recupero di calore dalle acque reflue comunali nel Comune di Kranj. Lo studio di fattibilità si concentrerà, nella prima fase, sulla verifica e l'identificazione dei luoghi tecnologicamente più potenziali dove ci si può aspettare che il capitale pubblico o privato scelga di installare in futuro un sistema di scambiatori di calore sulla rete fognaria.

I criteri chiave che saranno presi in considerazione per identificare i siti più adatti sono:

- Un volume sufficiente e costante di acque reflue nella rete fognaria;
- prossimità di edifici commerciali o residenziali dove il calore del sistema può essere utilizzato;
- l'idoneità del sito in termini di accessibilità alla rete fognaria, la costruzione di un impianto di scambio termico e la possibilità di collegamento al riscaldamento, raffreddamento,...

Nella seconda fase ci concentreremo principalmente sull'esame delle possibili opzioni tecnologiche attualmente utilizzate per i sistemi di recupero del calore residuo. Molte città in Europa hanno già implementato o stanno considerando di implementare sistemi simili come fonte di energia per il riscaldamento ed il raffreddamento. Soprattutto nei mesi estivi, ci troviamo sempre più spesso di fronte al fatto che il raffreddamento è il maggior consumatore di energia nel bilancio energetico di tutto l'anno. Il vantaggio di utilizzare l'energia della rete fognaria è proprio che l'energia recuperata può essere utilizzata sia per il raffreddamento che per il riscaldamento tramite uno scambiatore di calore. Tali sistemi sono la soluzione ideale per i grandi edifici commerciali e multi abitazione con impianti idraulici centrali tramite locali caldaia e servizi condivisi.

Oggi sul mercato sono disponibili già diverse soluzioni, la maggior parte delle quali sono basate sullo scambio di calore. Per questo motivo, ci concentreremo principalmente sulle soluzioni offerte dagli scambiatori di calore nel sistema fognario. Come parte dello studio, valuteremo i siti selezionati e le possibili opzioni tecnologiche che potrebbero essere utilizzate in futuro. L'obiettivo dello studio sarà quello di selezionare il luogo più adatto e la soluzione tecnologica per il recupero energetico sul sistema fognario di Kranj.

## 1.3. Obiettivi del progetto

Una delle più grandi sfide del XXI secolo è quella di soddisfare tutti i nostri bisogni energetici, che crescono ogni anno. In molti casi, l'energia fossile tradizionale non può essere la soluzione a causa di regolamenti ambientali e di altro tipo sempre più severi. Anche l'energia fossile tradizionale è diventata troppo costosa e antieconomica e in molti luoghi non può essere usata a causa dell'introduzione delle quote di emissione. Gli investitori sono anche sempre più inclini ad utilizzare fonti di energia alternative e tecnologie innovative per la produzione di energia. Uno di questi nuovi sistemi è certamente la pompa di calore, che sta comparando in molti edifici, principalmente per il riscaldamento. Il funzionamento di una pompa di calore non è un processo complicato come molti immaginano. Le pompe di calore funzionano sul principio dell'interdipendenza tra temperatura, pressione e volume del gas o del refrigerante. Se la pressione del gas viene ridotta, la temperatura diminuisce, e se la pressione viene aumentata,

la temperatura aumenta. Le pompe di calore usano l'elettricità per trasferire (pompate) l'energia termica da una fonte di calore (terra, acqua o aria) nel sistema di riscaldamento.

I sistemi di energia alternativa dipendono fortemente dalla temperatura della fonte di calore e dalla sua costanza. Dato che le tubature delle fogne si trovano a più di 1,5 m sotto la superficie, l'influenza atmosferica sulla temperatura delle acque reflue è trascurabile e quindi le acque reflue come fonte di energia alternativa sono ancora completamente da scoprire. Progetti simili stanno già emergendo all'estero. Tra i Paesi europei che hanno già iniziato a fare un uso intensivo di questa fonte di energia ci sono soprattutto i paesi scandinavi. Questi sono i paesi dove oggi vediamo più esempi di buone pratiche, soprattutto nei nuovi progetti immobiliari.

L'obiettivo principale del progetto sarà quello di identificare i luoghi potenziali dove un sistema di recupero del calore delle acque reflue potrebbe essere implementato, calcolare il potenziale termico e trovare le soluzioni tecnologiche ed i sistemi più adatti. Lo studio stesso si concentrerà anche su una breve analisi finanziaria, compresa un'analisi "Costi - Benefici".

L'obiettivo generale del progetto Energia dalle acque reflue è di:

- confermare la possibilità di sfruttare l'energia per il riscaldamento e il raffreddamento;
- identificazione di potenziali siti sulla rete fognaria di Kranj;
- possibili soluzioni tecnologiche con un'analisi finanziaria indicativa dell'investimento.

#### 1.4. Calendario di attuazione del progetto

Sulla base delle analisi, dei calcoli e dello stesso studio di fattibilità, saremo in grado di determinare il possibile piano temporale del progetto. Non abbiamo esperienza con progetti simili in Slovenia, quindi un programma esatto di attuazione è a questo punto solo una supposizione. Il successo del progetto dipende anche dai potenziali investitori privati e dalla loro volontà di partecipare al progetto, poiché ha senso collegare il sistema ad un edificio commerciale o residenziale più grande. Recentemente, sono stati annunciati diversi grandi progetti immobiliari a Kranj, che potrebbero generare una parte significativa della loro energia di riscaldamento e raffreddamento dalle acque reflue comunali. Realisticamente, ci aspettiamo che un progetto energetico per le acque reflue comunali possa essere realizzato tra il 2025 e il 2030.

#### 1.5 Risultato dell'analisi economica e finanziaria

Uno dei principali risultati dello studio è il bilancio energetico, che dimostra la razionalità dell'investimento in una soluzione tecnica innovativa. L'analisi economica dell'investimento nel sistema di recupero energetico delle acque reflue è stata effettuata calcolando il risparmio e il periodo di ammortamento rispetto al modo tradizionale di recupero energetico da fonti non rinnovabili. Nel calcolo abbiamo anche assunto che l'edificio da riscaldare riceva attualmente il suo calore da caldaie e che non sia necessario investire in caldaie. Per effettuare un'analisi economica dell'investimento nel nuovo sistema energetico, abbiamo preso in considerazione il fatto che i costi totali di preparazione, investimento e funzionamento per la realizzazione del progetto consistono in:

1. il costo della documentazione del progetto e l'acquisizione dei terreni necessari,

2. il costo del miglioramento e dell'adattamento dell'infrastruttura esistente nella rete fognaria (supponendo che la soluzione tecnologica scelta sia il recupero energetico dalle acque reflue urbane). Questo costo tiene conto di tutti gli interventi necessari nella rete fognaria (scavo, sostituzione dei tubi, costruzione del collegamento allo scambiatore di calore),
3. il costo della costruzione degli impianti e dell'installazione dei sistemi di recupero energetico nelle acque reflue urbane (impianto di scambio termico, hardware, collegamenti dall'impianto all'edificio, sottostazione termica, ecc.)
4. costi operativi per l'intero periodo di ammortamento.

## 1.6. Fonti di finanziamento del progetto

Le fonti di finanziamento di un progetto dipendono dal fatto che si tratti di un investimento pubblico o privato. Nel caso di un investimento pubblico, concepiamo i fondi provenienti dai Fondi della politica di coesione come la principale possibile fonte di finanziamento. Nel prossimo quadro finanziario pluriennale, i finanziamenti dell'UE saranno indirizzati a priorità nuove e rafforzate in tutti i settori. Una gran parte dei finanziamenti sarà anche destinata a soluzioni innovative per l'approvvigionamento energetico sostenibile. Il nostro progetto di sfruttamento dell'energia dalle acque reflue ha un potenziale estremamente alto per il cofinanziamento in tali bandi. Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio è una delle aree prioritarie della Commissione che persegue l'idea di un'economia circolare e l'adattamento al cambiamento climatico e la gestione dei rischi nel campo dell'approvvigionamento energetico sostenibile. Il costo della documentazione necessaria per il progetto sarà coperto dal bilancio comunale.

Dato il potenziale economico del progetto, c'è anche un'alta probabilità che il costo dell'intero progetto sia sostenuto da capitali privati. Riteniamo che i maggiori investitori privati possano provenire dal settore energetico o da potenziali investitori in progetti immobiliari. Con questo progetto, l'investitore può ottenere ulteriori sovvenzioni a fondo perduto per l'energia verde in quanto utilizza una fonte di energia rinnovabile. Il progetto è anche interessante dal punto di vista di un investimento di terzi, poiché la commercializzazione o la vendita dell'energia potrebbe coprire finanziariamente tutti i costi del progetto e garantire la fattibilità finanziaria del progetto. In particolare, la fattibilità finanziaria del progetto si rivelerà in seguito, in un'analisi finanziaria più dettagliata.

## 1.7 Presentazione degli investitori

All'interno dello studio del progetto, abbiamo identificato tre potenziali investitori.

- Società pubblica Komunalna Kranj d.o.o.
- Comune di Kranj
- Investitore privato

Per facilitare a tutti i potenziali investitori la comprensione di ciascuno di essi, li presentiamo di seguito in dettaglio.

Il primo potenziale investitore potrebbe essere l'azienda pubblica Komunalna Kranj d.o.o., che gestisce il sistema fognario e gli impianti di trattamento delle acque reflue. Komunalna Kranj ha una ricca storia ed è stata fondata con l'obiettivo di assicurare la fornitura a lungo termine e sostenibile di servizi pubblici obbligatori come la fornitura di acqua potabile e la gestione delle

acque reflue e dei rifiuti. Komunala Kranj, javno podjetje, d.o.o. è una società di proprietà del Comune di Kranj e dei Comuni di Šenčur, Cerklje na Gorenjskem, Medvode, Naklo, Preddvor e Jezersko.

Per svolgere e investire in attività commerciali, come la vendita dell'energia generata dalla rete fognaria, l'azienda ha bisogno dell'approvazione di tutti i proprietari, perché questo significherebbe investire in una tecnologia che non è necessaria per le operazioni principali dell'azienda. Se si adottasse questo approccio, l'azienda otterrebbe quasi certamente i fondi per un tale progetto attraverso il credito. Tuttavia, se l'energia fosse utilizzata nelle strutture dell'azienda come riscaldamento di base e anche raffreddamento, un tale investimento sarebbe parte del piano di investimento dell'azienda e avrebbe bisogno solo dell'approvazione del piano aziendale.

Un altro potenziale investitore in un progetto di recupero del calore delle acque reflue nell'area di Kranj potrebbe essere il Comune di Kranj, che possiede anche la rete fognaria. Il progetto potrebbe anche essere finanziato con fondi europei nell'ambito della politica di coesione. Tuttavia, la chiave per un tale investimento è che il comune prenda un approccio attivo per preparare tutta la documentazione necessaria, includa il progetto nella lista dei nuovi PPS e fornisca fondi sufficienti nel bilancio. In ogni caso, un tale approccio richiede soprattutto la volontà del sindaco, dell'amministrazione comunale e del consiglio comunale di investire in un progetto che mostrerebbe risultati solo dopo un certo periodo di funzionamento. Nella maggior parte dei casi, la gestione di tutti i lavori realizzati sulle infrastrutture pubbliche viene affidata ad un'impresa pubblica. Attraverso questi o simili progetti, il comune può avvicinarsi sempre di più al suo obiettivo di diventare un comune efficiente dal punto di vista energetico e a basse emissioni di carbonio. Questo impegno è anche sancito dal Concetto energetico locale, i cui obiettivi sono basati su documenti strategici nazionali e direttive internazionali.

Ultimamente stanno emergendo sul mercato sempre più investitori privati che sono disposti a investire in nuovi sistemi ecologici per la produzione di elettricità e calore. Come già sottolineato, i progetti di recupero del calore residuo possono essere molto interessanti anche per gli investitori privati. In entrambe le località, non ci sono ostacoli legali al fatto che un partner privato investa in un tale progetto. Per investire nel progetto, avrebbe bisogno del consenso del proprietario della rete e di un sufficiente apporto di calore. Nel caso della prima località (zona di Zarica), il cliente o l'acquirente del calore sarebbe Komunala Kranj d.o.o., mentre nella seconda località (futura zona di Kranjske iskrice), l'acquirente del calore sarebbero i proprietari degli appartamenti o, per loro conto, il gestore del condominio.

## 2. PARAMETRI DI INPUT NECESSARI PER IL RISULTATO DEL PROGETTO

I parametri che caratterizzano le acque reflue in termini di potenziale energetico sono innanzitutto la temperatura e il volume. Altri criteri per valutare il potenziale energetico delle acque reflue sono la loro qualità, le condizioni tecniche della rete fognaria, la distanza tra il sistema di recupero del calore ed i clienti, il tipo di clienti e le loro esigenze energetiche.

La quantità effettiva di acque grigie scaricate dagli edifici residenziali dipende da una serie di fattori, come il prezzo dell'acqua, la quantità e la qualità dei servizi igienici, le abitudini degli occupanti ed i dispositivi utilizzati negli edifici per ridurre il consumo di acqua. La quantità di acque grigie scaricate da una famiglia media è di circa 16 m<sup>3</sup> al mese. La temperatura media delle acque reflue municipali scaricate all'uscita di un'abitazione è di circa 30°C. Quest'acqua viene successivamente raffreddata. In media, le temperature dell'acqua nella rete fognaria



sono comprese tra 10°C e 15°C. In estate, le temperature possono salire oltre i 15°C in alcuni luoghi. A causa della temperatura relativamente costante, le acque reflue urbane possono essere utilizzate come fonte di energia alternativa per il riscaldamento e il raffreddamento. Rispetto ad altre fonti di calore a bassa temperatura utilizzate come fonte di energia inferiore per le pompe di calore (suolo, acqua freatica con una temperatura di 7-13°C), le acque reflue sono caratterizzate da una temperatura relativamente alta durante tutto l'anno.

Nell'area di Kranj, sulla base delle misurazioni effettuate, si può confermare che in media la temperatura delle acque reflue comunali oscilla tra i 10°C e i 15°C. Poiché ci sono diversi grandi consumatori industriali di acqua collegati alla rete, che scaricano nella rete acque reflue con una temperatura inferiore, la temperatura delle acque reflue all'ingresso dell'impianto di trattamento delle acque reflue è quindi circa di 12°C.

### 3. POSSIBILI OPZIONI TECNOLOGICHE PER IL RECUPERO DEL CALORE DELLE ACQUE REFLUE

#### Presentazione delle potenziali opzioni tecnologiche

La tecnologia di recupero del calore coinvolge uno scambiatore di calore installato on-line o off-line in una delle quattro diverse posizioni nel sistema delle acque reflue.

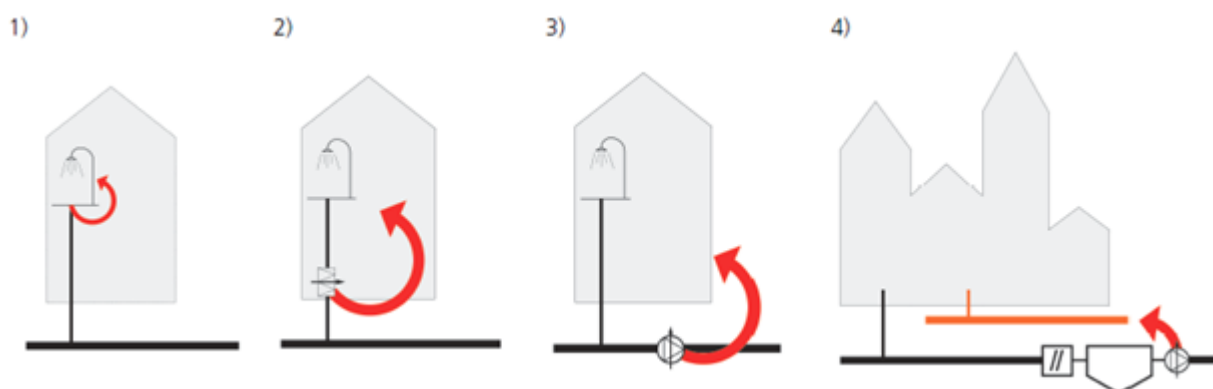


Figura 1: I quattro stadi (posizioni) da cui si può recuperare il calore delle acque reflue (WWHR)

Nella Figura 13 sono illustrate da sinistra a destra le quattro fasi in cui il calore può essere recuperato. Il primo è a livello di componenti e può essere usato soprattutto nell'industria, poiché l'investimento in un tale sistema in un edificio residenziale sarebbe troppo grande e irrazionale. La seconda posizione è a livello di proprietà. Questo tipo di recupero di calore può anche essere utilizzato principalmente nell'industria e nelle attività di servizio. Molti nuovi edifici sono già progettati per utilizzare l'acqua grigia per il risciacquo, ma per il recupero del calore i flussi in tali sistemi sono purtroppo troppo bassi per rendere l'investimento fattibile. Nel nostro caso, le posizioni 3 (suburbana, parte della città) e 4 (livello di sistema - uscita dal WWTP) sono le più adatte, poiché ci sono quantità sufficienti di acque reflue comunali e l'investimento in un sistema di recupero di calore è fattibile.

Le prime due posizioni hanno temperature dell'effluente significativamente più alte e flussi bassi, mentre le ultime due posizioni hanno temperature più basse ma flussi dell'effluente costanti e più alti. Di conseguenza, con flussi più alti c'è anche un più alto valore energetico

del sistema e quindi una maggiore redditività e giustificazione dell'investimento in un progetto di recupero di calore delle acque reflue comunali.

### 3.2 Potenziali rischi di un progetto energetico per le acque reflue

L'installazione di un sistema di recupero di energia attraverso il recupero di calore nei sistemi fognari esistenti può presentare una serie di rischi. I rischi generali identificati sono i seguenti:

- a.) il funzionamento del sistema fognario,
- b.) il funzionamento dell'impianto di trattamento delle acque reflue (se il sistema è installato all'ingresso dell'impianto di trattamento delle acque reflue),
- c.) il funzionamento del sistema di recupero del calore,
- d.) rischi legali e di proprietà.

Di seguito, ci concentriamo sui rischi tecnici che riguardano il funzionamento del sistema fognario. Fondamentalmente, la funzione primaria di una rete fognaria è quella di scaricare le acque reflue urbane, quindi il sistema deve funzionare perfettamente. Quando si prepara la documentazione tecnica per i sistemi di recupero del calore delle acque reflue, è necessario considerare i seguenti rischi tecnici nella fase di progettazione, che possono verificarsi a causa di un cattivo posizionamento o delle condizioni della rete fognaria.

I principali rischi tecnici che possono anche influenzare l'ammissibilità di un investimento sono:

- riduzione della capacità delle fogne,
- velocità ridotta del flusso di acque reflue municipali,
- aumento del potenziale di sedimentazione sul fondo delle fogne e conseguente intasamento della linea fognaria,
- l'insorgenza di odori e potenziali inondazioni, specialmente nelle fogne miste che trasportano grandi volumi di acqua piovana.

Durante la fase di progettazione e di micro-localizzazione del sistema, è anche necessario identificare e valutare i rischi per l'efficacia del trattamento delle acque reflue a valle del sistema, principalmente a causa della temperatura ridotta delle acque reflue comunali che influenza le prestazioni di nitrificazione e i cambiamenti nei profili di flusso.

### 3.3 Descrizione delle possibili soluzioni tecniche

Sulla base dei dati di input, l'opzione più adatta nel nostro studio si è rivelata corrispondente alle fasi 3 e 4. Per entrambe le fasi di recupero del calore dal sistema fognario, abbiamo eseguito misurazioni di flusso e temperatura. Entrambi i parametri principali hanno dimostrato che entrambe le località sono potenziali fonti di energia sufficiente sia per il riscaldamento che per il raffreddamento.

La temperatura delle acque reflue è sempre stata intorno ai 12°C in entrambi i siti e non è scesa sotto i 10°C in inverno. A causa della temperatura quasi costante, il calore delle acque reflue offre un'efficienza energetica molto migliore rispetto al calore della terra o dell'acqua freatica. I valori tipici per i sistemi di recupero del calore delle acque reflue sono:

- Riscaldamento (COP): 5,0- 6,5 con potenza ausiliaria, altrimenti circa 4,5,
- Raffreddamento (EER): 7,5 - 8,5 con potenza ausiliaria, altrimenti circa 6,5.

Sulla base della modellazione, abbiamo determinato che il sistema richiede un volume giornaliero di acque reflue comunali di circa 3.400 m<sup>3</sup>/giorno per generare l'equivalente di 1 MW di elettricità. Se ne deduce che la produzione propria di acque reflue in un tipico edificio commerciale-residenziale non è sufficiente a soddisfare tutte le esigenze di riscaldamento/raffreddamento dell'edificio, e quindi il sistema deve essere collegato a una linea fognaria pubblica che abbia flussi di acque reflue sufficienti.

Per selezionare la soluzione più appropriata, abbiamo esaminato i rischi che influenzano la scelta della tecnologia. Il rischio principale in entrambi i siti di Kranj era il potenziale blocco delle acque reflue comunali attraverso lo scambiatore di calore, la turbina e il tubo di scarico. L'accumulo di grasso sul tubo e su altri elementi può essere un grosso problema. Per questo motivo, abbiamo optato per un sistema off-line per ridurre la possibilità di blocchi e garantire il funzionamento affidabile della linea fognaria. Per queste ragioni, è stata scelta anche la posizione all'uscita del Kranj WWTP piuttosto che l'afflusso.

### 3.4. Punti di partenza fondamentali per determinare l'ubicazione e la tecnologia appropriate

Nei capitoli precedenti, abbiamo affermato che i dati più importanti per determinare l'idoneità di un sito e la scelta di una tecnologia appropriata sono la portata delle acque reflue e la temperatura delle acque reflue.

Per il progetto di recupero del calore dalle acque reflue comunali, abbiamo identificato due siti più adatti, vale a dire il sito di Planina vicino al futuro condominio Iskrica e il sito di Kranj CČN. Per entrambi i siti, sono state effettuate misurazioni dei flussi e delle temperature delle acque reflue comunali.

#### a.) Posizione presso il futuro condominio Kranjska Iskrica - canale GZ1

Tabella 1: Temperatura delle acque reflue nel 2020

Mese	Temperatura media, °C	Temperatura media minima, °C	Temperatura media massima, °C
Gennaio	12,41	11,15	12,93
Febbraio	12,64	10,44	13,35
Marzo	12,75	9,52	14,38
Aprile	15,15	13,50	16,33
Maggio	16,49	15,09	17,69
Giugno	18,21	16,36	19,91
Luglio	20,30	19,31	21,55
Agosto	21,74	20,68	22,52
Settembre	20,88	17,07	21,98
Ottobre	17,52	14,74	19,73
Novembre	16,12	14,03	17,97
Dicembre	11,69	7,65	14,68
<b>Media annuale</b>	<b>16,33</b>	<b>14,13</b>	<b>17,75</b>

La tabella 2 mostra che il canale GZ1 (Kranjska Iskrica) ha una temperatura media di 16,33°C, che va da 11,69°C misurati in Dicembre (media mensile più bassa) a 22,52°C misurati in Agosto (media mensile più alta). Le temperature relativamente alte nel canale GZ1 sono anche dovute al fatto che il sito è molto vicino alla fonte delle acque reflue urbane. Da questi dati concludiamo che il sito risulta adeguato in base alle condizioni di temperatura delle acque reflue urbane.

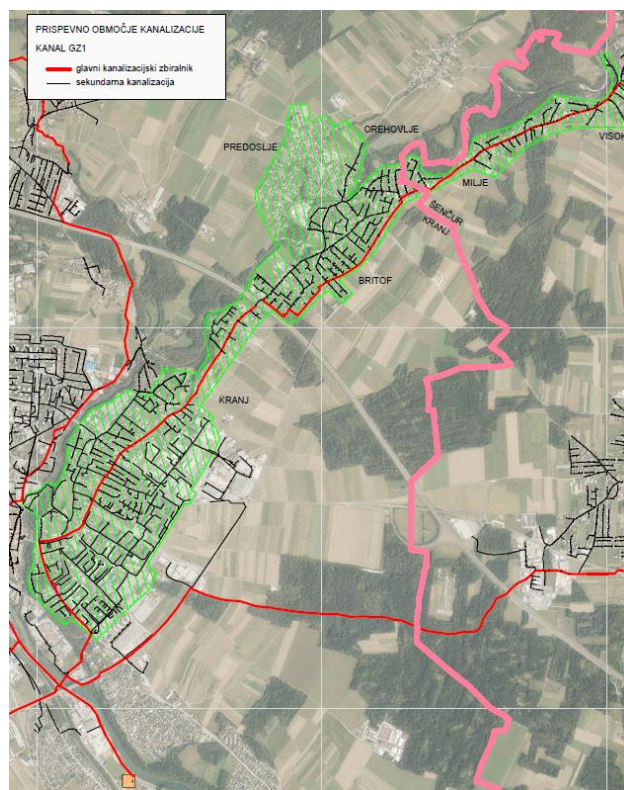


Figura 2: Area di contribuzione del canale GZ1

Dalla figura 2 si evince che gran parte dell'agglomerato di Kranj, Britof - Predoslje, Visoko e Hotemaže è collegato a questo canale. La base per la stima della quantità di acque reflue urbane è basata sul presupposto comunemente assunto che 1 abitante genera 150L di acque reflue in un giorno. 1PE=150L/persona/giorno. La maggior parte delle acque reflue che scorrono in questo canale provengono da proprietà domestiche e commerciali.

Tabella 2: Stima dello scarico delle acque reflue nel 2021

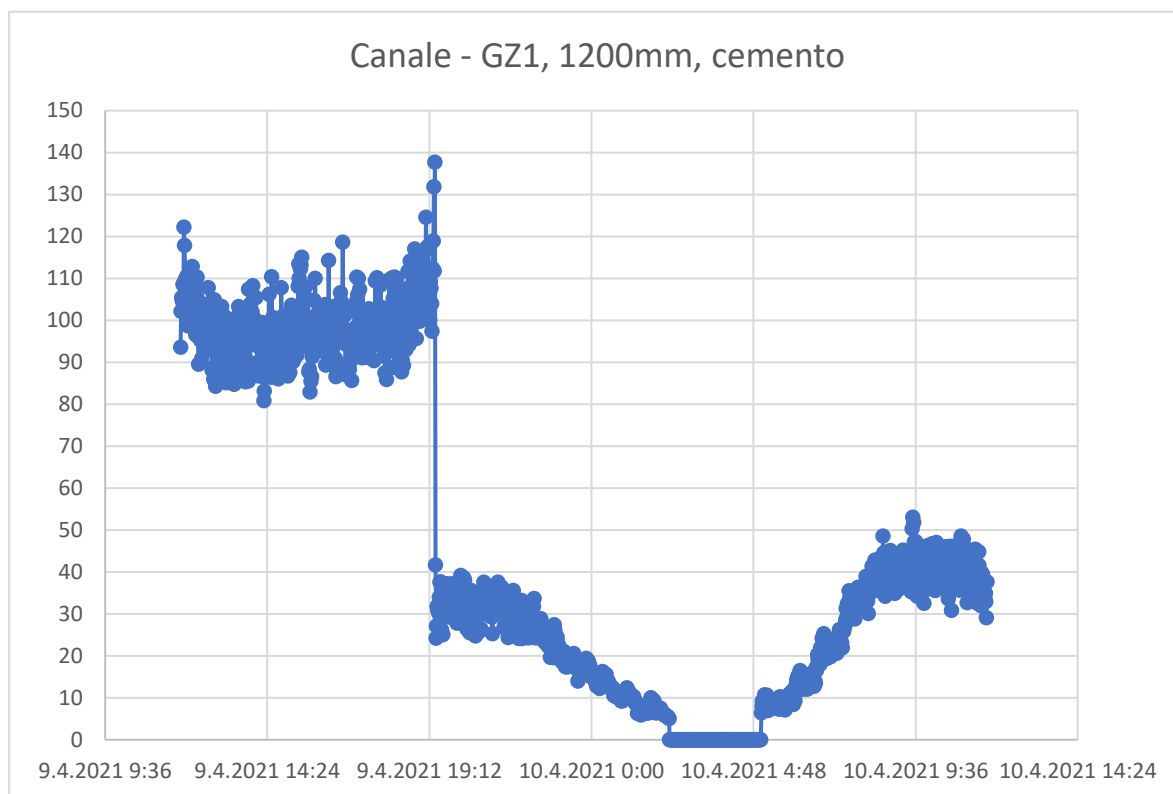
ID dell'agglomerato	Nome dell'agglomerato	PE (unità di popolazione)	Numero di strutture	Numero di PE collegati al canale GZ1
20594	Kranj	34.496	4.624	14.362
20593	Britof - Predoslje	3.202	965	3.042
3952	Alto	1.193	328	1.003
<b>TOTALE</b>				<b>18.407</b>

Dai dati di cui sopra si desume che il volume medio giornaliero di acque reflue urbane nel canale GZ1 è di 2.761,05 m<sup>3</sup>. Tenendo conto che le acque reflue urbane non vengono prodotte 24 ore al giorno e assumendo la produzione di acque reflue, questo dà un flusso orario medio di acque reflue urbane di 136 m<sup>3</sup>/h durante la stagione secca. In caso di precipitazioni, e dato

che la rete fognaria è di tipo misto (acque fecali e meteoriche), questo valore può arrivare fino al doppio del flusso della stagione secca di 272 m<sup>3</sup>/h in caso di pioggia o piogge torrenziali.

Tutti questi parametri confermano l'idoneità del sito anche secondo il criterio del flusso delle acque reflue urbane.

Grafico 1: Esempio di distribuzione giornaliera del flusso di acque reflue urbane nel canale GZ1 (m<sup>3</sup>/h)



## b.) Posizione Impianto centrale di trattamento delle acque reflue Kranj

Tabella 3: Temperatura delle acque reflue urbane nel 2020

Mese	Temperatura media, °C	Temperatura media minima, °C	Temperatura media massima, °C
Gennaio	12,05	10,83	12,55
Febbraio	12,27	10,14	12,96
Marzo	12,38	9,24	13,96
Aprile	14,71	13,11	15,85
Maggio	16,01	14,65	17,17
Giugno	17,68	15,88	19,33
Luglio	19,71	18,75	20,92
Agosto	21,11	20,08	21,86
Settembre	20,27	16,57	21,34
Ottobre	17,01	14,31	19,16
Novembre	15,65	13,62	17,45
Dicembre	11,35	7,43	14,25



<b>Media annuale</b>	<b>15,85</b>	<b>13,72</b>	<b>17,23</b>
----------------------	--------------	--------------	--------------

La temperatura nel sito del WWTP di Kranj è stata misurata all'ingresso del WWTP e non all'effluente, dove sarebbe stato installato un dispositivo di recupero del calore delle acque reflue. La temperatura all'uscita del WWTP è tipicamente di 1-2°C più bassa di quella all'entrata. Se consideriamo che la temperatura all'uscita è inferiore di 2°C, abbiamo una temperatura media di 13,85 °C durante tutto l'anno, ossia spaziante dai 5,43°C misurati in Dicembre (media mensile più bassa) ai 20,08°C misurati in Agosto (media mensile più alta). Da questi dati concludiamo che il sito è adatto per quanto riguarda le condizioni di temperatura delle acque reflue urbane. Le deviazioni relativamente grandi tra le temperature medie minime e massime medie sono state rilevate in Dicembre. Per questo motivo, le misurazioni dovranno essere effettuate di nuovo nel 2021 all'uscita dell'impianto di trattamento delle acque reflue.

Grafico 2: Temperatura delle acque reflue comunali presso l'impianto di depurazione di Kranj



Le acque reflue vengono scaricate al WWTP di Kranj in una rete fognaria in parte separata e in parte mista del Comune di Kranj, del Comune di Senčur e del Comune di Naklo. L'impianto tratta anche le acque reflue pretrattate dall'industria e il percolato della discarica chiusa di Tenetiše. Una parte del carico è anche rappresentata dalle immissioni di fanghi settici, fanghi da piccoli impianti di trattamento delle acque reflue comunali e trappole per il grasso.

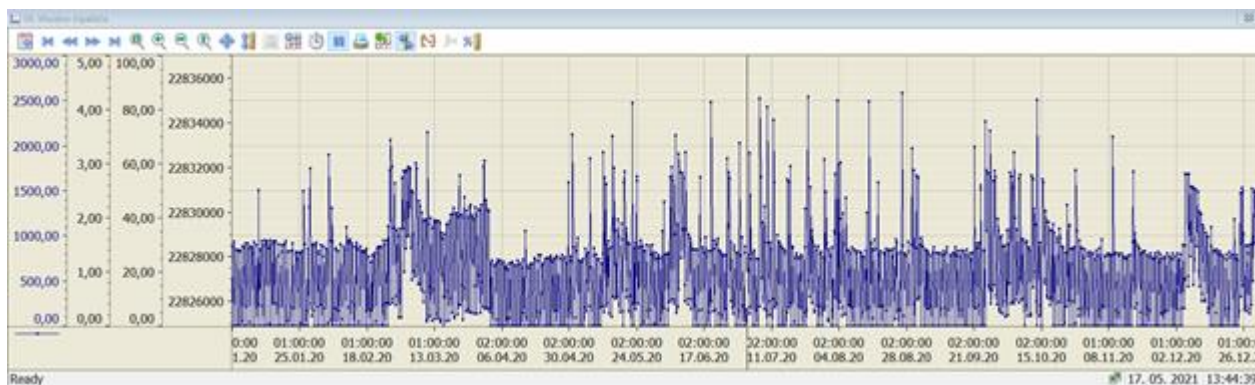
Un bacino per le acque piovane (3900 m<sup>3</sup>) è costruito sotto il livello del suolo di fronte all'impianto di trattamento delle acque reflue, con una stazione di pompaggio di sollievo per ridurre il flusso massimo di acque reflue attraverso l'impianto e per prevenire tracimazioni di acque reflue non trattate nel fiume Sava. Questo bacino di acqua piovana aiuta anche a garantire che la temperatura all'affluente stesso non scenda significativamente durante le forti piogge, poiché l'acqua piovana abbassa la temperatura delle acque reflue comunali.

Tabella 4: Flusso delle acque reflue municipali all'ingresso dell'impianto di depurazione di Kranj

Mese	Flusso medio, m <sup>3</sup> /h	Portata minima, m <sup>3</sup> /h	Portata massima, m <sup>3</sup> /h
Gennaio	354,05	298,10	753,44
Febbraio	386,94	320,27	1.035,39
Marzo	514,71	326,02	1.169,59
Aprile	321,66	294,41	489,06
Maggio	467,13	296,27	1.033,36
Giugno	550,50	308,94	1.307,21
Luglio	436,89	274,36	989,94
Agosto	405,33	299,78	822,81

Settembre	445,94	302,71	1.156,03
Ottobre	565,30	332,31	1.044,42
Novembre	369,99	306,78	820,94
Dicembre	657,09	308,71	1.278,57
<b>Media annuale</b>	<b>456,29</b>	<b>305,72</b>	<b>991,73</b>

Grafico 3: Flusso delle acque reflue all'ingresso del Kranj WWTP



Il flusso medio giornaliero di acque reflue comunali al Kranj WWTP è di 456,29 m<sup>3</sup>/h. Anche i flussi medi minimi al Kranj WWTP sono più che sufficienti per confermare l'idoneità del sito.

Sulla base delle misurazioni effettuate in entrambi i siti, si può confermare che i siti hanno il potenziale di sfruttare l'energia sia per il riscaldamento in inverno che per il raffreddamento in estate.

#### 4. L'UBICAZIONE E GLI ASPETTI AMBIENTALI DEL PROGETTO

Entrambi i progetti sono previsti lungo la rete fognaria pubblica, che è di proprietà del comune e gestita da Komunalna Kranj d.o.o. Se l'investitore fosse una società privata, avrebbe bisogno del consenso del comune e del gestore. Uno studio di fattibilità con diverse misurazioni mensili della temperatura e del flusso dovrebbe essere realizzato in anticipo. Nel caso del sito del canale GZ1, la temperatura dovrebbe essere misurata anche a quote inferiori. Nel caso del recupero di calore dall'emissario del Kranj WWTP, le misurazioni sarebbero necessarie solo all'emissario. Dal punto di vista dell'ubicazione, l'elemento principale è rappresentato dalla necessità che siano disponibili dei consumatori per il calore estratto, quindi le ubicazioni sono possibili in aree dove sono previsti edifici residenziali e commerciali con una domanda di energia superiore a 100 kW. Entrambi i siti hanno tali edifici previsti in futuro, quindi sono adeguati dal punto di vista dell'ubicazione.

Entrambi i siti si trovano nel comune di Kranj. Il primo sito si trova vicino al collettore comunale di acque reflue GZ1 nella zona di Planina. Il progetto Kranjska Iskrca è attualmente nella fase di progettazione concettuale. Il nostro studio evidenzia solo il potenziale energetico delle acque reflue comunali nel luogo del canale GZ1. Come si può vedere, sarà necessario costruire una condotta di calore di circa 100 m fino al sito. Non abbiamo dati esatti sul fabbisogno energetico delle future strutture.





#### 4.1. Presentazione dell'opzione tecnologica più potenziale per il sito di Zarica

La potenziale variante tecnologica che proponiamo è fondamentalmente la stessa per l'applicazione sulla rete fognaria o sullo scarico del CCN Kranj ed è applicabile sia per il riscaldamento che per il raffreddamento.

L'unica differenza per quanto riguarda l'installazione è che se l'acqua di scarico è installata nella rete fognaria, deve essere pre-pulita da particelle e grasso (pre-trattata meccanicamente) prima degli scambiatori di calore. Il pre-trattamento meccanico e il serbatoio di stoccaggio possono essere installati sotto il livello del suolo. Questo non è necessario quando si usa l'acqua di scarico proveniente dal depuratore di Kranj perché l'acqua di scarico è già pulita da particelle e grasso.

Aggiungiamo che sarebbe consigliabile (indipendentemente dal luogo di installazione) installare un serbatoio di stoccaggio (accumulo di flusso) a monte dello scambiatore di calore per garantire il miglior bilanciamento energetico possibile durante i periodi di basso flusso.

#### 4.2. Parametri di ingresso del nuovo edificio del Centro di Economia Circolare Komunala Kranj

Per determinare le caratteristiche termiche dell'edificio, è stata effettuata una simulazione numerica dell'edificio all'interno del progetto concettuale con passi temporali di un'ora usando il software TRNSYS per due regimi operativi, cioè per il regime 20-26 (temperatura interna di 20 °C durante la stagione di riscaldamento e 26 °C durante l'estate, con temperature che variano tra 20 °C e 26 °C durante il periodo di transizione) e il regime 21-25, che fornisce un maggiore comfort termico.

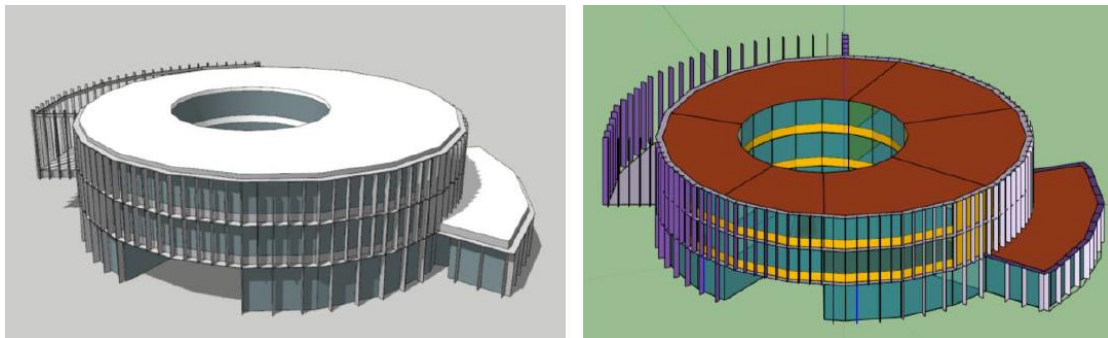


Figura 5: modello di edificio 3D a sinistra, modello di edificio termico a destra

Tutte le simulazioni TRNSYS sono state eseguite per le seguenti condizioni limite:

- dati meteorologici utilizzati: anno meteorologico standard per Ljubljana
- azimuth della facciata sud dell'edificio
- infiltrazione: 0,1 e 0,6 ricambi d'aria fresca all'ora.

Sono state considerate due opzioni: che l'edificio sia ombreggiato o meno. Per la nostra analisi, abbiamo preso l'informazione che l'edificio ha l'ombreggiamento e che ha fonti di energia interne per determinare la potenza di riscaldamento/raffreddamento richiesta. Abbiamo incluso 53 persone come fonti di energia interna, distribuite sulla superficie dell'edificio. Si è tenuto conto che l'attività dei presenti sia facile e sedentaria secondo ISO 7730 (potenza termica

totale di 120W, 65W di calore sensibile) e che ogni dipendente usi un computer con monitor (140W) che è in funzione quando i dipendenti sono nell'edificio.

Il modello considera il riscaldamento/raffreddamento continuo dell'edificio per 8760 ore all'anno. Le zone termiche nel modello hanno una superficie totale di 2.200 m<sup>2</sup> ed un volume di 8.255 m<sup>3</sup>.

#### **a.) Modalità 20-26 con 0,1 cambi d'aria all'ora (0,1 ACH)**

I risultati mostrano che la massima potenza di riscaldamento richiesta è 65,9 kW e la massima potenza di raffreddamento richiesta è 47,5 kW. 129,4 MWh di calore sono richiesti per il riscaldamento e 17,1 MWh per il raffreddamento. Questo significa che l'edificio usa 58,8 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento e 7,8 kWh/m<sup>2</sup> per il raffreddamento. L'edificio ha bisogno di essere riscaldato per 5.936 ore all'anno e raffreddato per 1.890 ore.

#### **b.) Modo 20-26 di 0,6 ACH**

I risultati mostrano che la massima potenza di riscaldamento richiesta è 110,3 kW e la massima potenza di raffreddamento richiesta è 46,1 kW. 249,8 MWh di calore sono richiesti per il riscaldamento e 8,7 MWh per il raffreddamento. Questo significa che l'edificio usa 113,6 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento e 4 kWh/m<sup>2</sup> per il raffreddamento. L'edificio ha bisogno di essere riscaldato per 6.484 ore all'anno e raffreddato per 1.192 ore.

#### **c.) Modo 21-25 di 0,1 ACH**

I risultati mostrano che la massima potenza di riscaldamento richiesta è 68,3 kW e la massima potenza di raffreddamento richiesta è 51,2 kW. 143,4 MWh di calore sono richiesti per il riscaldamento e 22,9 MWh per il raffreddamento. Questo significa che l'edificio usa 65,2 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento e 10,4 kWh/m<sup>2</sup> per il raffreddamento. L'edificio ha bisogno di essere riscaldato per 6.351 ore all'anno e raffreddato per 2.293 ore.

#### **d.) Modo 21-25 di 0,6 ACH**

I risultati mostrano che la massima potenza di riscaldamento richiesta è 114,1 kW e la massima potenza di raffreddamento richiesta è 53,8 kW. 274,7 MWh di calore sono richiesti per il riscaldamento e 14,2 MWh per il raffreddamento. Questo significa che l'edificio usa 124,9 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento e 6,5 kWh/m<sup>2</sup> per il raffreddamento. L'edificio ha bisogno di essere riscaldato per 6.875 ore all'anno e raffreddato per 1.576 ore.

### **4.3. Caratteristiche di base del sistema selezionato**

- L'uso di un sistema a pompa di calore permette di risparmiare energia.
- È un sistema chiuso, quindi non causa dispersioni di odori o rifiuti pericolosi nell'ambiente.
- Può essere usato sia in inverno che in estate.
- Lo scambiatore di calore è installato all'esterno della linea fognaria in una struttura di cemento dove può essere utilizzato e mantenuto in condizioni tecniche stabili.
- Il calore può essere recuperato sia vicino alla linea fognaria che ad una distanza maggiore.

- I diversi componenti tecnologici (camera di scarico, scambiatori di calore, pompa) possono essere situati nello stesso luogo o ad una distanza maggiore l'uno dall'altro.
- Possono essere installati sopra o sotto il pavimento. Requisiti di spazio relativamente bassi.
- Poiché la tecnologia può essere installata sottoterra, può essere utilizzata in aree densamente popolate, non solo in periferia (come nel caso dell'eolico, del solare, ecc.).
- L'esecuzione richiede solo 10 mesi.
- La tecnologia ha una durata di vita di almeno 15 anni e alcuni componenti possono essere rinnovati o sostituiti nel tempo.
- La tecnologia può essere supportata da una metodologia e un ciclo di manutenzione stabiliti, compreso un computer di supervisione che invia avvisi di azioni da intraprendere (come parte della gestione remota).
- Questa tecnologia non cambia la composizione dell'acqua di scarico (non aggiunge e non toglie nulla), ma cambia solo la sua temperatura. La filtrazione è essenzialmente un processo meccanico con un consumo minimo di energia.
- Il funzionamento può essere controllato a distanza dal sito web a qualsiasi distanza dall'edificio.
- La tecnologia può essere integrata in un'installazione di riscaldamento esistente o impostata come parte di un progetto greenfield.
- Spese in conto capitale: allestire un sistema di riscaldamento e raffreddamento capace di produrre 1 MW di calore costa circa 1 milione di euro, più il costo della progettazione e il resto delle attrezzature e degli impianti.
- La tecnologia può essere utilizzata idealmente nelle aree urbane.
- Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

## 5. ANALISI FINANZIARIA

### 5.1. Esempio di un edificio di riferimento in Ungheria

Per stabilire un'analisi finanziaria più dettagliata, abbiamo preso l'esempio di un impianto di dimensioni simili a quello di Kranj, che è in uso in Ungheria, in particolare a Budapest.

Caratteristiche di base dell'oggetto di riferimento:

- Raffreddamento/riscaldamento,
- Capacità 1MW,
- Connessione alla rete fognaria,
- Anno di realizzazione: 2012.

Tabella 5: Parametri di base dell'impianto di riferimento

Parametro	Valore
-----------	--------

Flusso delle acque reflue	90 - 120m <sup>3</sup> /h
Temperatura media delle acque reflue	15 - 17 °C
Temperatura di ritorno delle acque reflue (riscaldamento)	10°C
Temperatura di ritorno dell'acqua di scarico (raffreddamento)	25°C
Parametri in modalità riscaldamento per due pompe di calore	645,8+569 = 1.214,8kW
Parametro della modalità di raffreddamento per due pompe di calore	567,4+505 = 1.072,4kW
COP	6,78 - 8,24
DT (riscaldamento)	35/20°C
DT (raffreddamento)	6/16°C
Flusso d'acqua (riscaldamento)	25 + 25m <sup>3</sup> /h
Flusso d'acqua (raffreddamento)	25 + 13m <sup>3</sup> /h
Domanda di elettricità residua	43 kW
Investimento (stima)	EUR 1,3 M

## 5.2. Analisi costi-benefici

Per l'analisi dei costi, abbiamo preso i dati di un impianto di riferimento in Ungheria. Sulla base di investimenti simili all'estero, possiamo concludere che il costo totale di implementazione di un sistema di recupero energetico delle acque reflue è di circa 1 milione di euro per un impianto da 1 MW.

Nel nostro caso, i calcoli portano al seguente potenziale energetico.

### a.) Posizione sul canale GZ1

Con un flusso di acque reflue di 136m<sup>3</sup> all'ora, questo fornisce un potenziale energetico di 0,8MW. La stima dell'investimento, se il potenziale energetico fosse pienamente sfruttato, sarebbe di circa 0,8 milioni di euro.

### b.) Sito di Zarica (all'uscita dell'impianto di depurazione di Kranj, outfall)

Con un flusso di acque reflue di 450 m<sup>3</sup> all'ora, si ottiene un potenziale energetico di 2,5 - 3 MW di energia. Il potenziale energetico in questo luogo sarebbe sufficiente per il nuovo edificio amministrativo così come per le altre strutture nella zona comunale di Zarica. L'investimento stimato, se il potenziale energetico è pienamente sfruttato, è di circa 2 milioni di euro.

Il fattore COP significa, in termini semplificati, che per ogni 1 kW di energia in entrata si ottengono 4 kW di potenziale energetico. Il fattore COP stimato per il sistema proposto è 4 per il riscaldamento e 3,5 per il raffreddamento. L'efficienza del recupero di energia per il riscaldamento o il raffreddamento dipende anche dalla distanza del locale o dell'edificio dalla fonte stessa. Perciò, in futuro, dovrebbe essere condotto uno studio dettagliato per ogni sito, con misurazioni di temperatura e flusso più lunghe, per determinare l'esatto fabbisogno energetico. In breve, sarà necessario redigere una documentazione tecnica almeno a livello di progetti concettuali per ottenere la pianificazione ed altre condizioni in conformità con la legge sull'edilizia.

Sulla base di tale documentazione dettagliata, è poi possibile calcolare il periodo di ritorno dell'investimento e determinare tutti i costi operativi.

## 6. CONCLUSIONE

Dai passi fondamentali per le linee guida per il recupero di calore dalle acque reflue comunali si evincono gli aspetti che devono essere maggiormente considerati. L'ordine degli aspetti chiave può essere diverso. In alcuni casi, specialmente per le città che stanno considerando l'installazione di questi sistemi, può avere senso analizzare prima la rete fognaria e trovare i settori più adatti. Spesso bisogna anche tener conto delle specificità locali e della legislazione. In alcuni casi, l'uso della rete fognaria è consentito dalla legge solo per il trasporto delle acque reflue. Ottenere i permessi, in questo caso un permesso di costruzione, può richiedere tempi notevolmente prolungati a causa di una legislazione inadeguata che non prevede la costruzione di tali strutture sulla rete fognaria. Questa è spesso la prima volta che i decisori si confrontano con un progetto del genere.

Anche le considerazioni ambientali devono essere prese in considerazione quando si pianifica un tale progetto, poiché il bypass delle acque reflue urbane potrebbe portare a potenziali perdite e infiltrazioni nelle acque sotterranee. Spesso le reti hanno diversi tipi di tubi, che è anche una delle considerazioni chiave del design. Indipendentemente dagli aspetti e dai rischi che abbiamo incontrato nel corso dello studio, possiamo dire che il recupero di energia per il riscaldamento e il raffreddamento dalle acque reflue urbane è uno dei sistemi più innovativi ed efficienti per raggiungere una società senza carbonio oggi. L'investimento in un tale sistema non è piccolo, ma se guardiamo alla quantità di denaro investita attualmente dall'UE per le fonti di energia verde, possiamo dire che, alla fine, una tale soluzione è economica ed ecologicamente e socialmente intelligente.

Il nostro studio ha dimostrato che entrambi i siti nel comune di Kranj hanno il potenziale per recuperare il calore dalle acque reflue comunali. In entrambi i siti sono previsti dei nuovi edifici a risparmio energetico, il che è una ragione in più per considerare il recupero di calore sulla rete fognaria invece dei sistemi di riscaldamento convenzionali. Speriamo che sia l'UE che lo Stato della Slovenia stanino in futuro ancora più fondi per queste fonti di energia. I sistemi stessi sono relativamente piccoli e possono essere utilizzati nei centri urbani, dove i flussi e le temperature delle acque reflue municipali sono relativamente alti, il che aumenta ulteriormente la competitività di tali sistemi.