UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

OR3
Attività 3.1
Analisi del funzionamento dei sistemi fognari

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

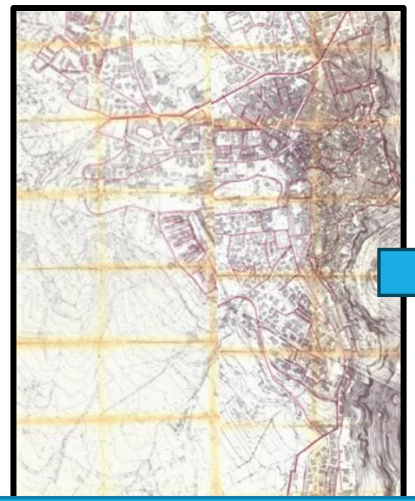
Ministero dell'Università e della Ricerca

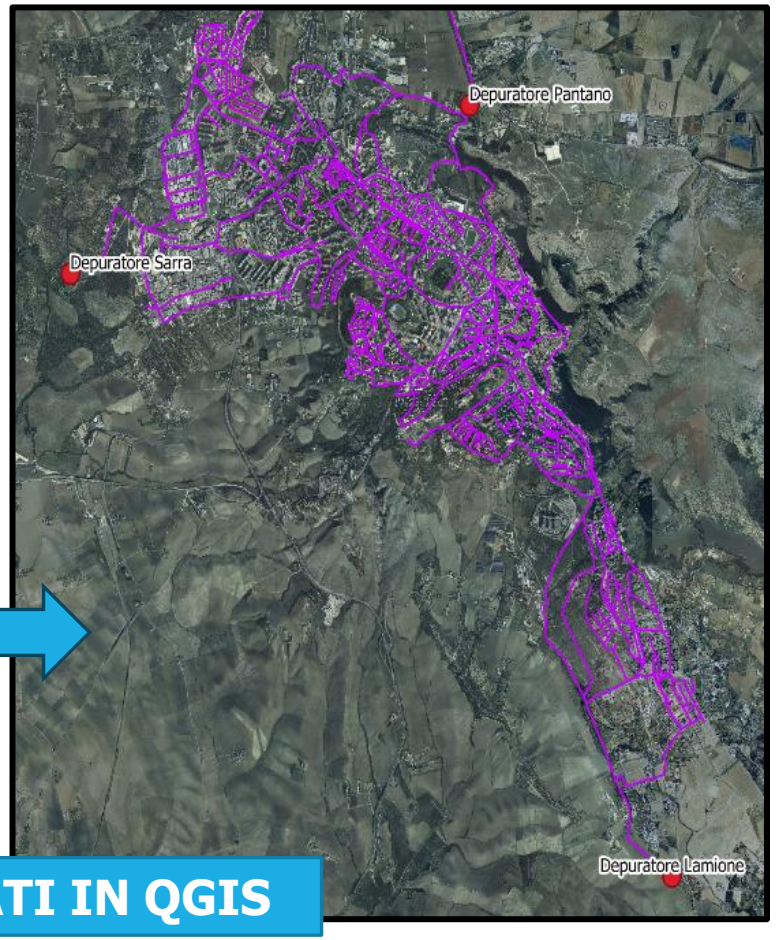
PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

Introduzione

Nell'Attività 3.1 si è sviluppato il **modello idraulico della rete fognaria della città di Matera tramite il codice di calcolo open source SWMM** necessario per individuare possibili scenari di **recupero del calore dalle acque reflue della rete fognaria.**

Per la **costruzione del modello idraulico** si sono integrate le diverse informazioni fornite dal Gestore in ambiente **QGIS** in modo da sfruttare gli **strumenti di geoprocessing e di integrazione e analisi tra dati differenti.**



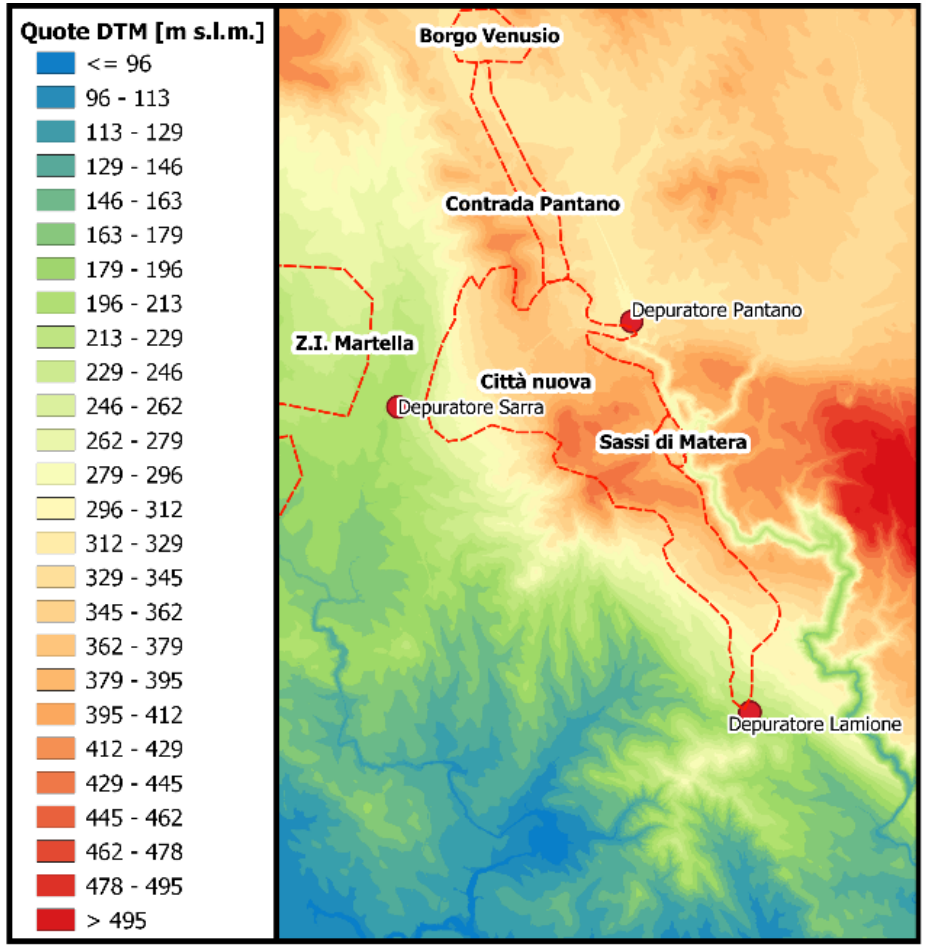


DIGITALIZZAZIONE DEI DATI IN QGIS

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

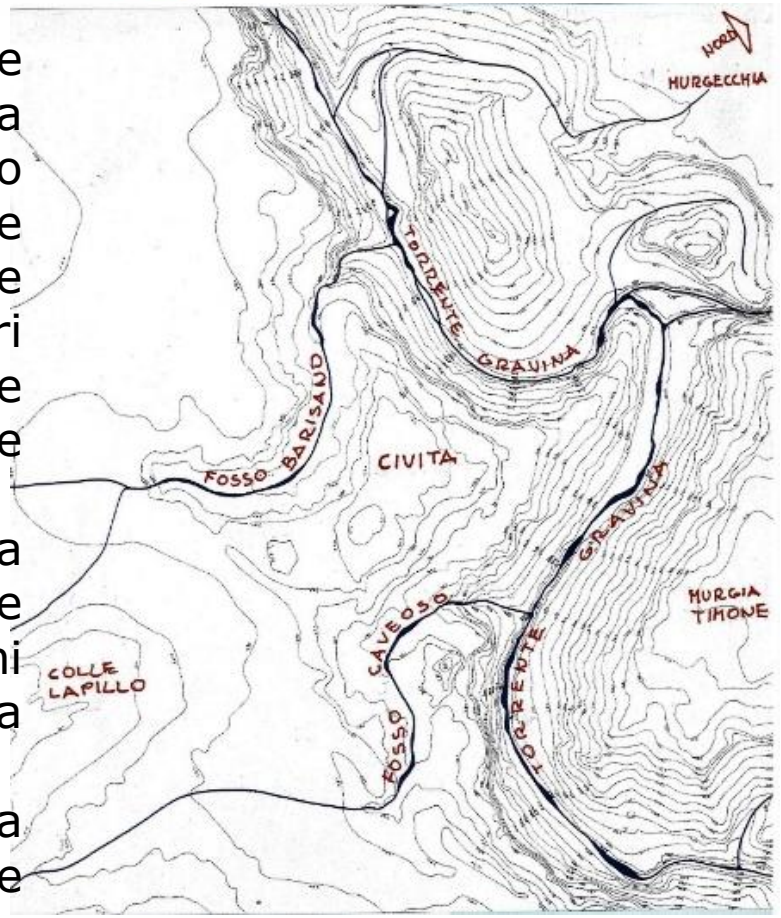
Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020



DTM area urbana Matera

Storicamente le acque di scarico utilizzate dalla popolazione venivano direttamente sversate nei Grabiglioni, che fungevano da collettori a cielo aperto sia delle acque meteoriche che reflue.
La loro copertura e la chiusura delle cisterne presenti nelle abitazioni ha portato a problematiche significative nella gestione delle acque piovane.



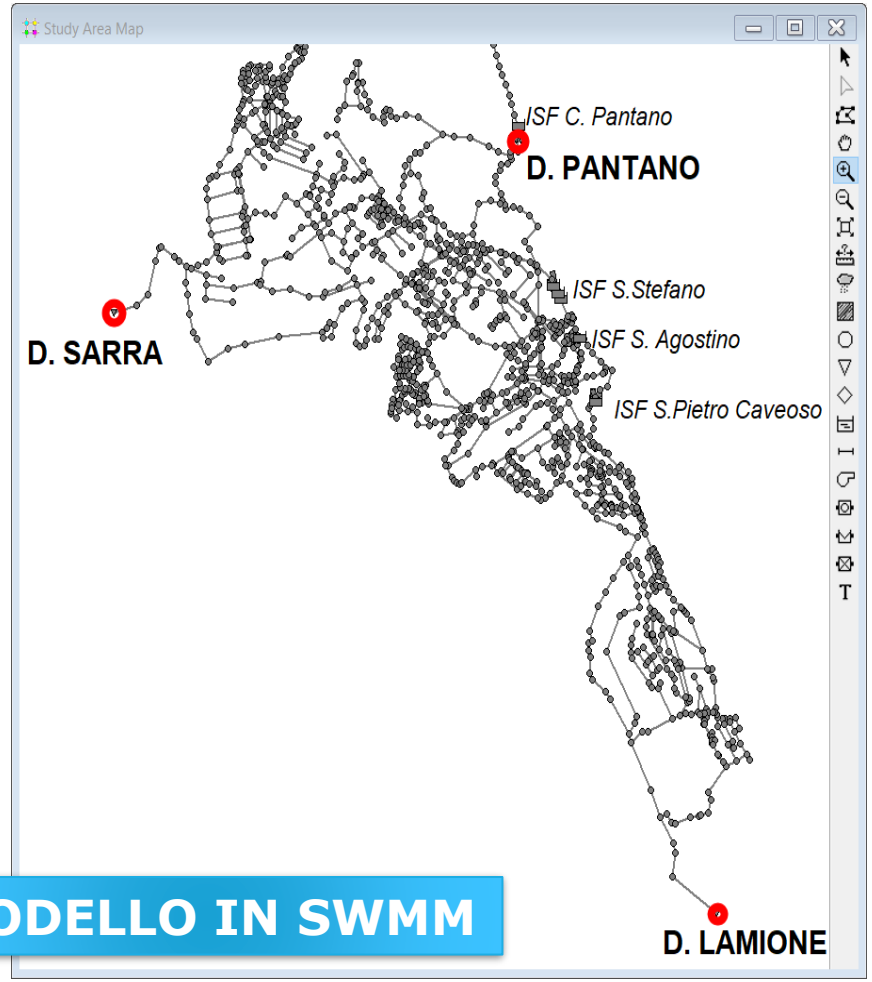
I «Grabiglioni» che sversano le acque nel Torrente Gravina

Successivamente si è eseguita la conversione da QGIS a SWMM dei layer vettoriali contenenti i nodi e i pozzetti con tutti gli elementi caratterizzanti attraverso un apposito script.

La città di Matera è costituita principalmente da una **rete di tipo mista** di circa **110 km di condotte** e **1400 nodi**.

Depuratore Pantano *(principale)*	35000 A.E.
Depuratore Sarra	27500 A.E.
Depuratore Lamione	17000 A.E.

3 sollevamenti per gestire il quartiere dei Sassi
1 sollevamento nella condotta a Nord di Pantano

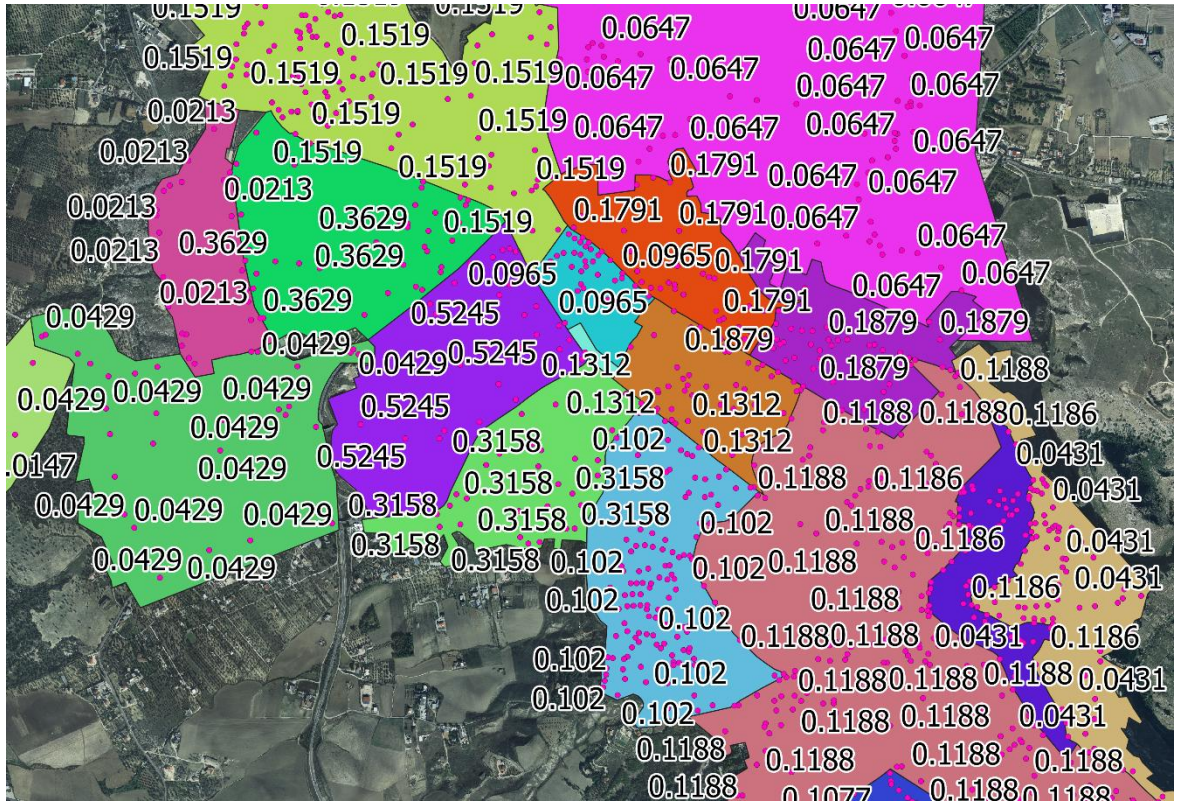


MODELLO IN SWMM

Il parametro fondamentale per recuperare calore dal sistema di drenaggio è rappresentato dalla **portata reflua in tempo secco** che circola nella rete.

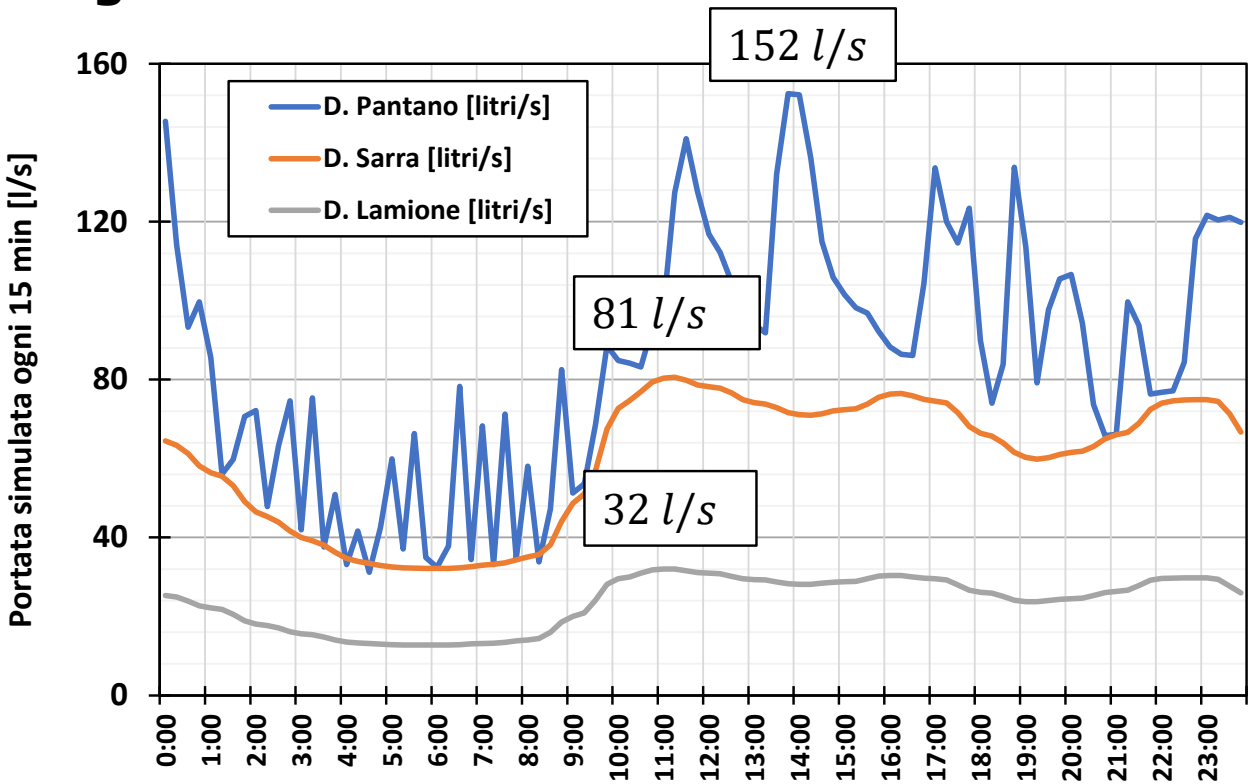
Non disponendo di misure di portata puntuali è stata effettuata una stima a partire **dalle letture dei volumi in ingresso ai depuratori**, utilizzando il numero dei residenti nei quartieri nell'ipotesi di attribuire la stessa portata in ingresso ai Nodi del modello idraulico contenuti nel quartiere.

Per tenere conto della **variabilità nell'arco della giornata**, la portata reflua di progetto è stata moltiplicata per un **coefficiente variabile nelle 24 ore** in modo da avere massimi giornalieri e minimi notturni.

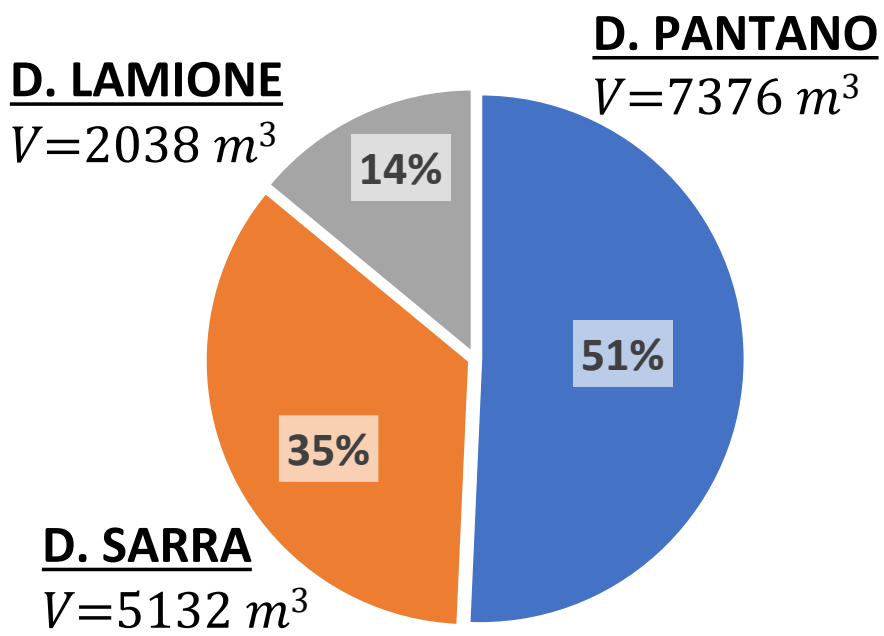


Portate reflue in ingresso ai nodi diverse per ogni quartiere

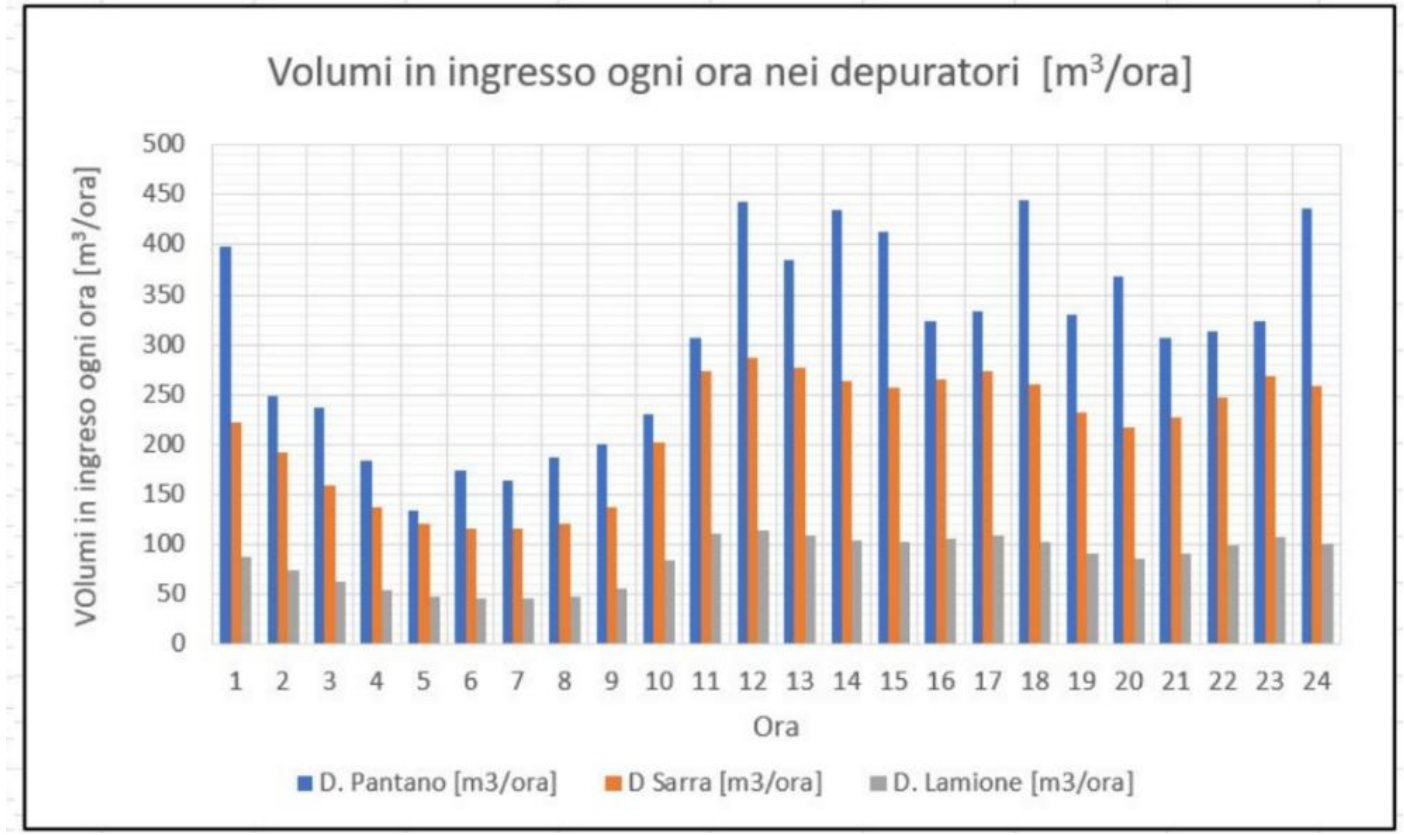
La simulazione è stata effettuata con un **time step di 1 min** e una **visualizzazione dei dati ogni 15 min**.



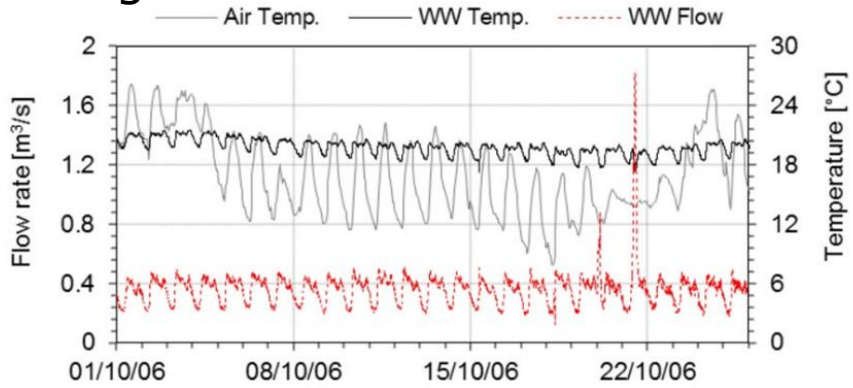
Portate simulate in ingresso nei tre depuratori



Volume in ingresso giornaliero nei tre depuratori



Partendo dai risultati delle simulazioni del sistema fognario in tempo secco è quindi possibile fare ipotesi di recupero del calore. L'altro parametro necessario, ovvero la temperatura del refluo, può essere stimata sulla base di dati di letteratura, come ad esempio quelli della fognatura di Bologna:



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

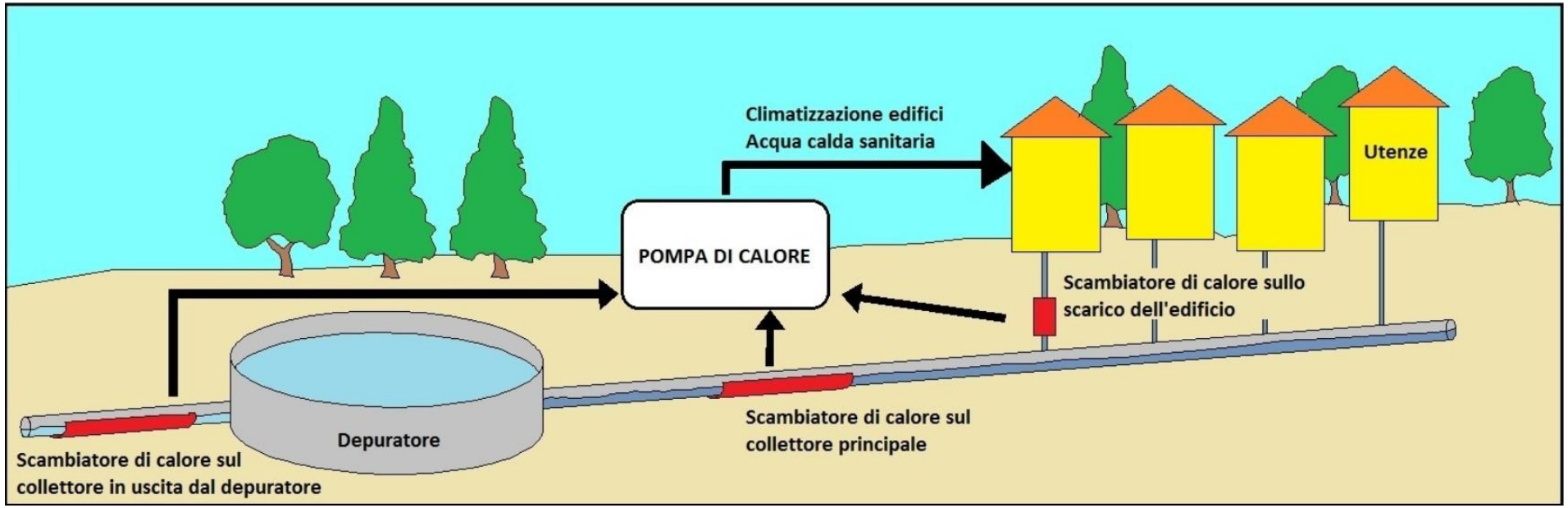
PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

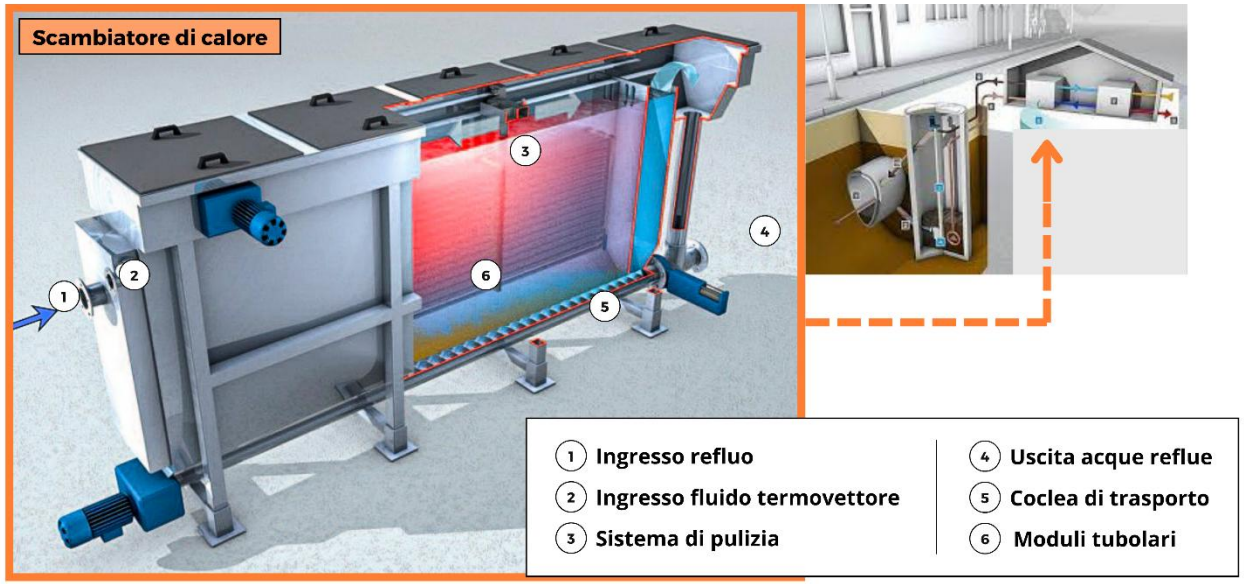
OR3
Attività 3.2
Analisi delle tecnologie per il recupero energetico nei sistemi fognari

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

ELEMENTI DI UN IMPIANTO DI RECUPERO DEL CALORE

Scambiatore di calore	Assorbe il calore contenuto nelle acque reflue e lo trasferisce al fluido termo-vettore
Pompa di calore	Assorbe il calore dal fluido termo-vettore e lo porta ad una temperatura maggiore utilizzando energia elettrica





Esempio di scambiatore di calore dell'azienda HUBER modello RoWin (https://www.huber.de/it/prodotti/energia-dallacqua-reflua/huber-scambiatore-di-calore-rowin.html)

Esempio di scambiatori di calore posizionati all'interno dei collettori fognari.

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

OR3
Attività 3.3
Sviluppo di un modello per la simulazione del recupero di energia termica dalle acque reflue

Azione II.2 – Cluster tecnologici D.D. prot.1735 del 13 Luglio 2017
"Avviso per la presentazione di Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020"
Progetto ARS01_01080: L'efficientamento energetico del Servizio Idrico Integrato - WATERGY

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

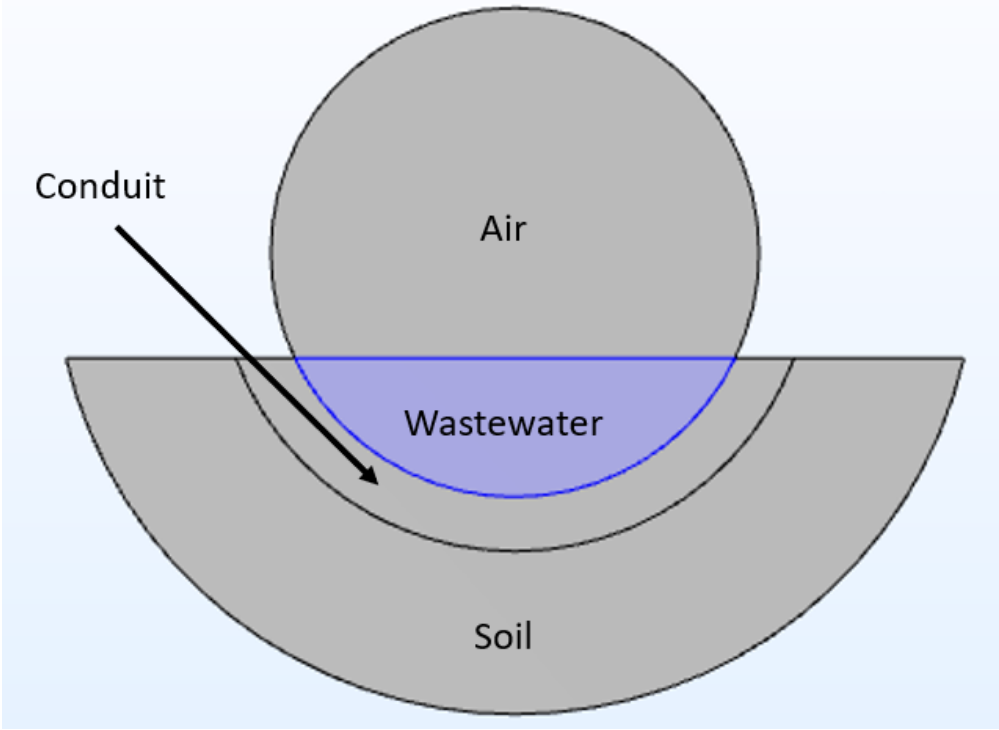
Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

VARIAZIONE DI TEMPERATURA NELLE CONDOTTE

L'obiettivo è ottenere un semplice **modello** ad alta accuratezza che richieda minime misurazioni in situ dei parametri termici ed idraulici dei sistemi fognari, al fine di prevedere **l'effettiva temperatura in ogni sezione delle condotte**.

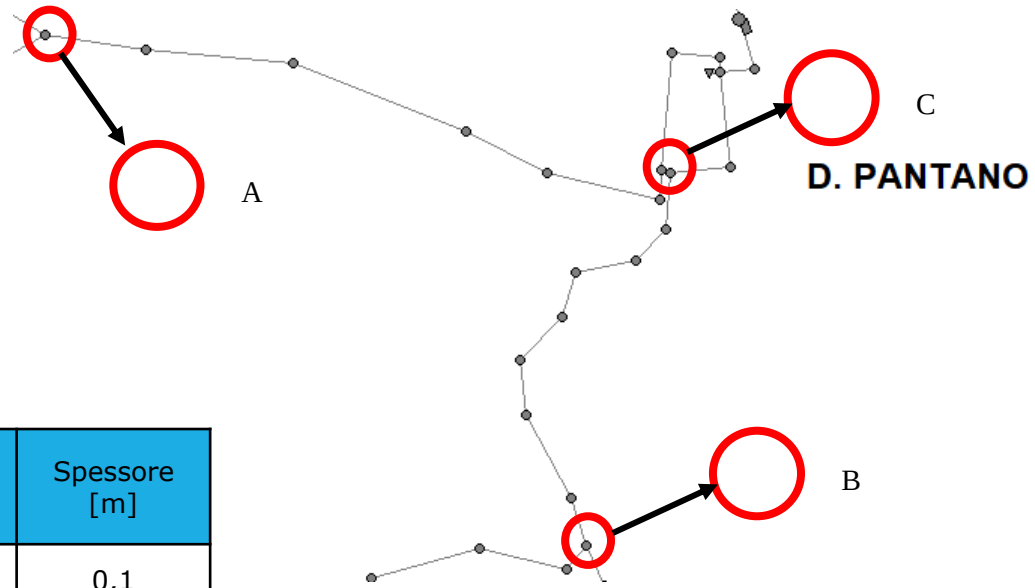
Si utilizza il software Comsol per valutare la **perdita di energia termica** delle acque reflue attraverso le pareti del sistema fognario.



DEPURATORE PANTANO DI MATERA

Si deve valutare la temperatura delle acque reflue **prima dell'ingresso all'impianto** di depurazione (punto C).

Due condotte (A-C e B-C) di cui sono note le caratteristiche raggiungono il depuratore.



Materiale	Calore specifico [J/(kg·K)]	Densità [kg/m³]	Conduttività termica [W/(m·K)]	Ramo	Lunghezza [m]	Diametro [m]	Spessore [m]
Cemento	920	2500	0,1	A-C	675	0,8	0,1
				B-C	470	1	0,11

ALTRI PARAMETRI DI INTERESSE

Oltre alle **caratteristiche delle condotte**, per la stima della variazione di temperatura in condotta sono necessari anche:

- **Temperatura dell'aria**;
- **Temperatura delle acque reflue** in ingresso;
- **Proprietà termiche** del suolo.

Caratteristiche del suolo	
Calore specifico [J/(kg·K)]	920
Densità [kg/m³]	2600
Conduttività termica [W/(m·K)]	2,1

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

RISULTATI: TEMPERATURA DELLE ACQUE REFLUE AL DEPURATORE

Stagione	T_{aria}	T_{suolo}	$T_{acque\ in\ ingresso}$	$T_{acque\ in\ uscita\ ramo\ B\text{-}C}$	$T_{acque\ in\ uscita\ ramo\ A\text{-}C}$	$\Delta T_{ramo\ B\text{-}C}$	$\Delta T_{ramo\ A\text{-}C}$
Inverno	8,87	11,58	14,53	14,41	14,41	-0,12	-0,12
Primavera	13,37	11,07	15,33	15,17	15,19	-0,16	-0,14
Estate	26,09	21,06	19,67	19,74	19,76	0,07	0,09
Autunno	17,00	21,62	19,00	19,09	19,06	0,09	0,06

PROCESSO DI DISIDRATAZIONE DEI FANGHI

Ottenuti i risultati sulla temperatura delle acque reflue in ingresso all'impianto di depurazione nelle varie stagioni, si è sviluppato un **modello per simulare un impianto di disidratazione dei fanghi**, utilizzando il software TRNSYS.

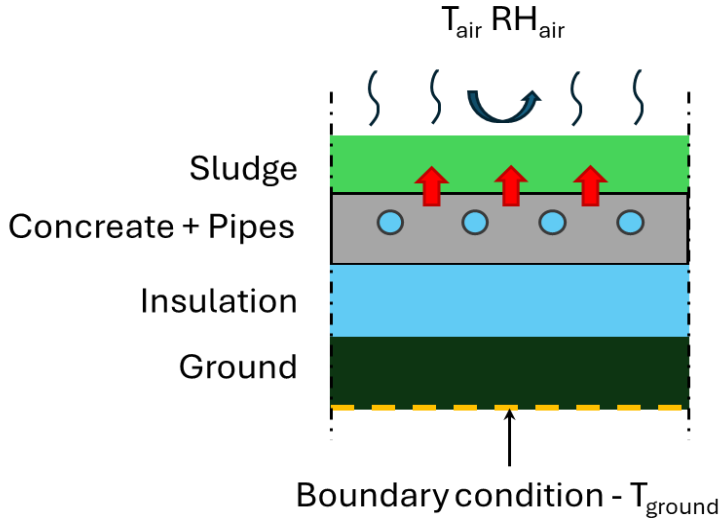
La metodologia prevede di sfruttare il calore delle acque in ingresso tramite una **pompa di calore**, ed utilizzarlo per disidratare i fanghi di processo in uscita dall'impianto.

L'obiettivo è di determinare la **convenienza economica** del processo rispetto al conferimento diretto in discarica, tenendo in considerazione che i costi di smaltimento dipendono fortemente dal peso e che il processo di disidratazione proposto causa un calo di peso a fronte di un aumento della spesa energetica.

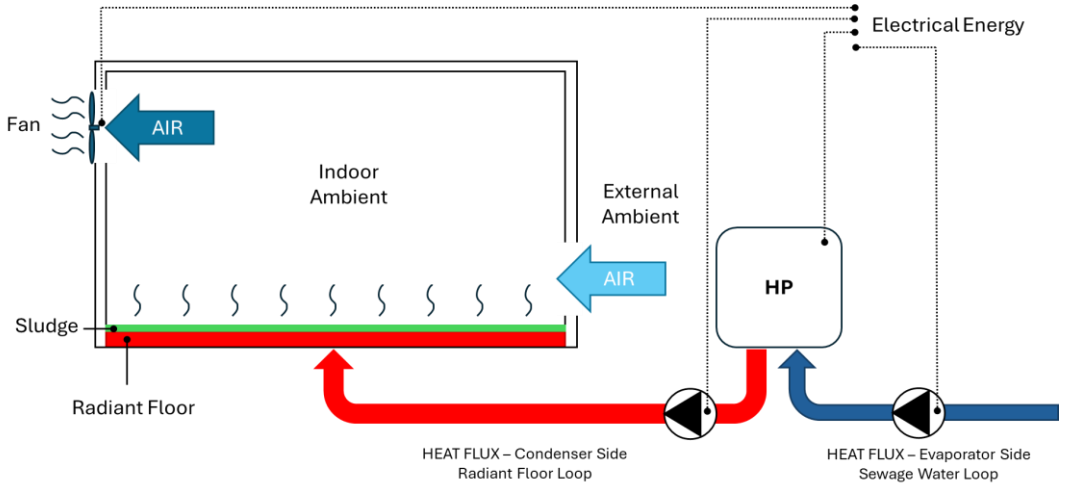
PAVIMENTO RADIANTE

Il calore prelevato viene ceduto ad un fluido di processo che riscalda, tramite un pavimento radiante, la **vasca di accumulo**, nella quale si ha uno strato di fanghi di 7-8 cm. Questi presentano una conduttività termica simile a quella dell'acqua, dato che il loro volume è dato per almeno il 70% da acqua.

L'evaporazione viene calcolata a partire da una forma modificata della formula di Penman, tenendo quindi in considerazione **l'energia in ingresso al liquido, la temperatura e l'umidità relativa**.



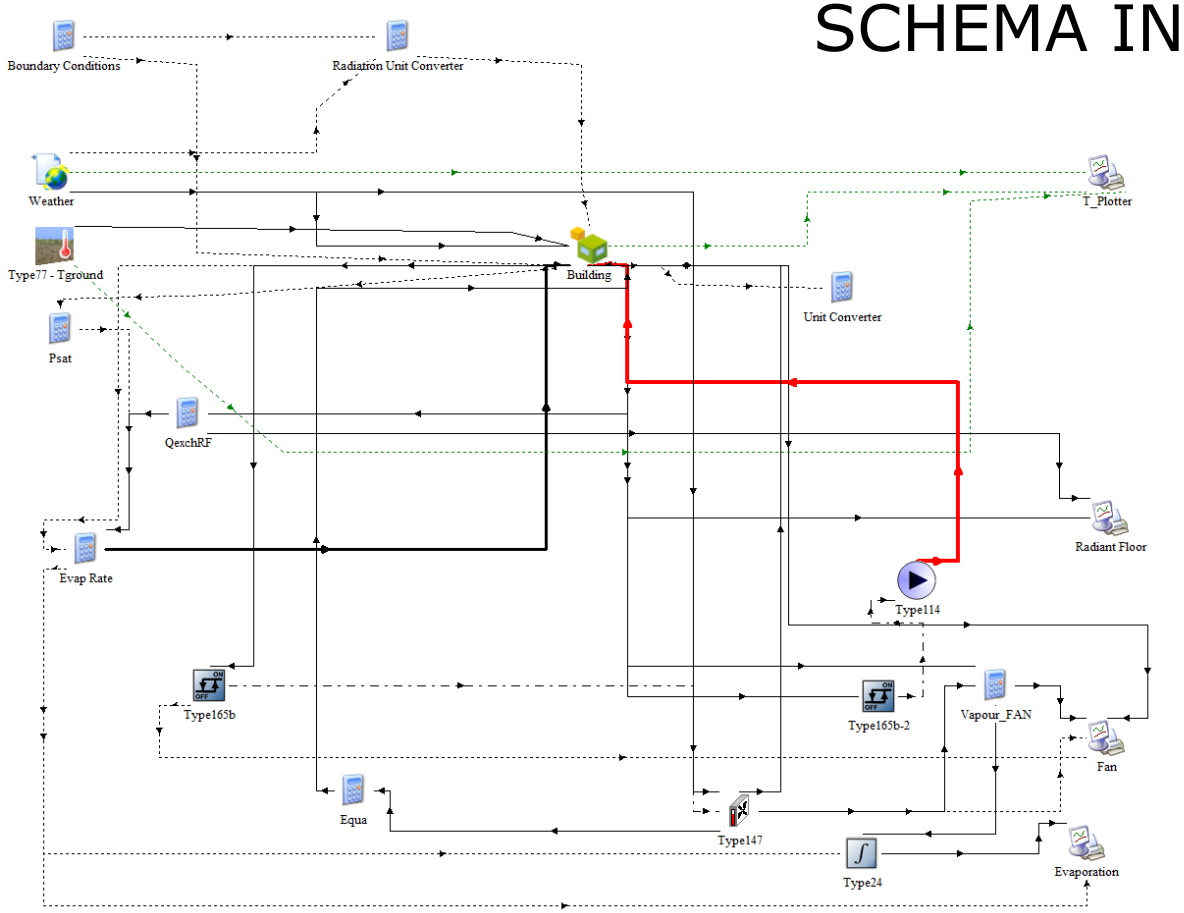
SCHEMA DELL'IMPIANTO



La vasca è sita all'interno di un edificio, nel quale viene fatta ricircolare aria per permettere **l'allontanamento del vapore formatosi per evaporazione**. Le proprietà termiche della struttura risultano poco rilevanti, in quanto, per favorire l'evaporazione, risulta più efficace **abbassare l'umidità relativa** che aumentare la temperatura.

Il comportamento della pompa di calore è stato calcolato usando equazioni di rendimento che ne descrivono il rendimento in funzione dell'evaporazione e delle temperature di condensazione.

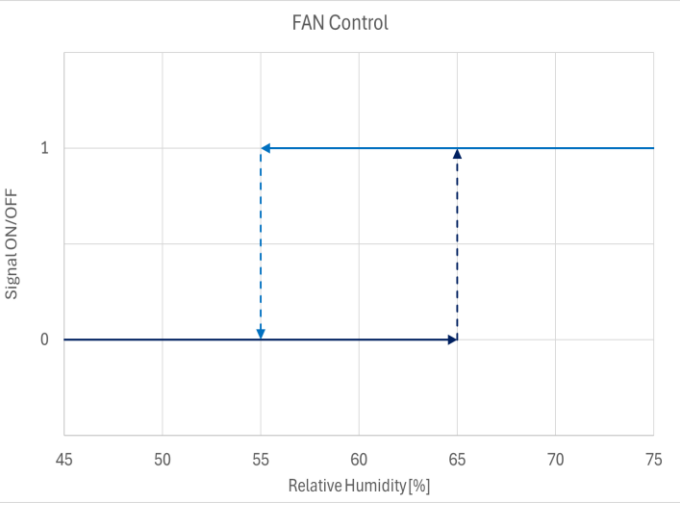
SCHEMA IN TRNSYS

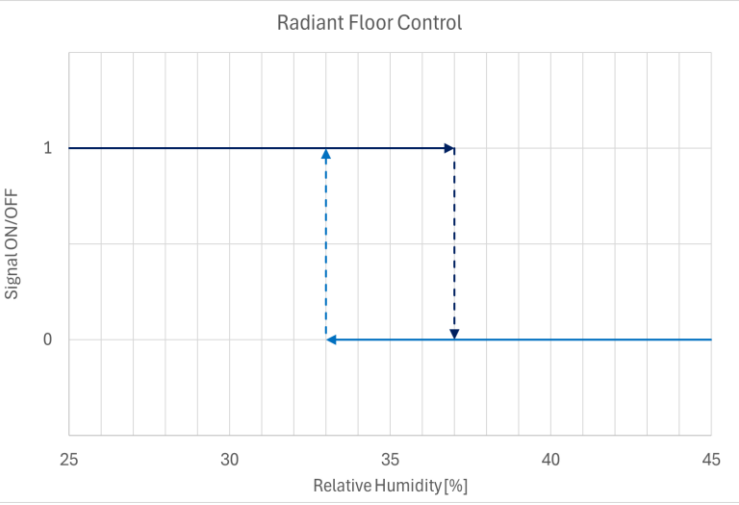


Il software di simulazione è in grado di analizzare e valutare in dettaglio il **bilancio di massa e di energia** dell'edificio e dell'impianto. Il bilancio di energia è calcolato anche per le singole componenti del sistema, con e senza scambio di massa.

È necessario inoltre tenere in considerazione che **l'evaporazione ha un effetto di raffreddamento** sul pavimento radiante e sullo strato di fanghi, che deve essere incluso nel bilancio energetico.

ACCENSIONE E SPEGNIMENTO DEGLI ORGANI ROTANTI





Nei risultati delle simulazioni sono compresi anche i **consumi elettrici delle pompe e del ventilatore**, gli schemi di funzionamento dei quali sono riportati in figura.

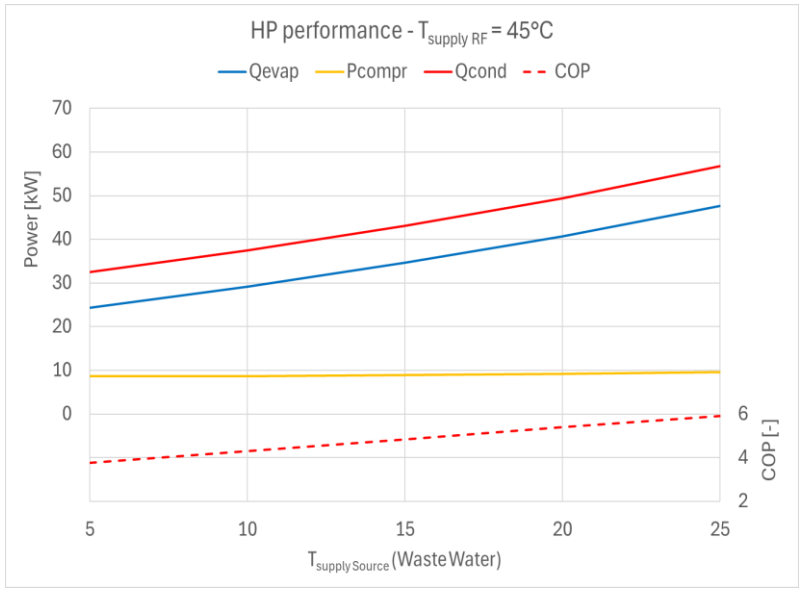
L'accensione del ventilatore di ricircolo è **funzione dell'umidità relativa** all'interno del capannone, mentre quella della pompa di calore è **funzione della temperatura media sul piano radiante.**

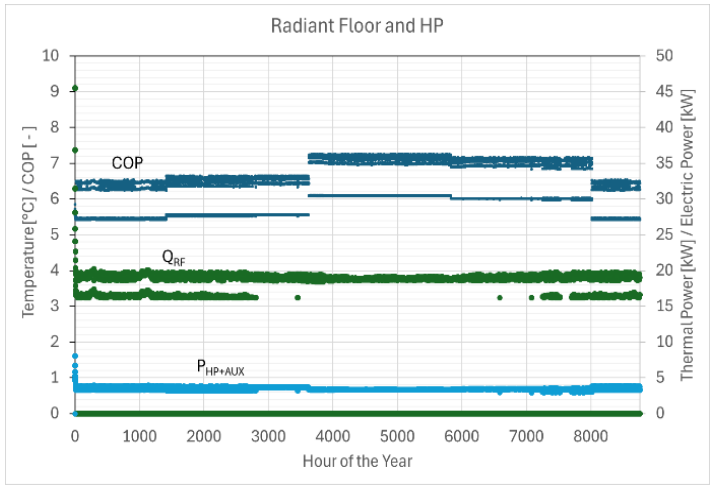
UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

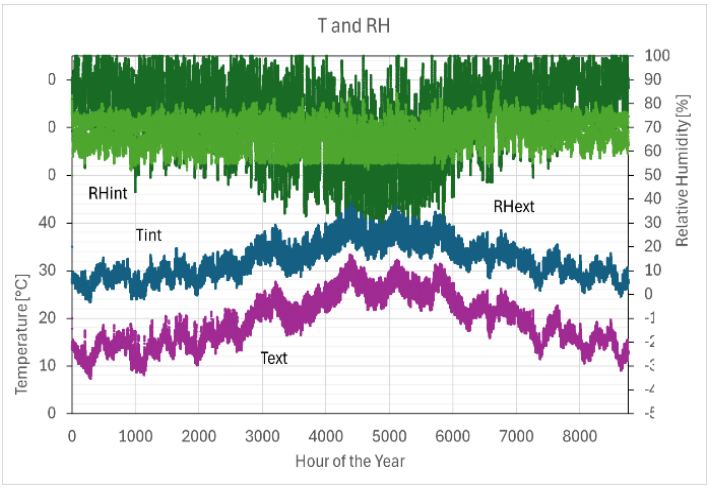
Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

CONDIZIONI OPERATIVE E RENDIMENTI ANNUALI







Il COP della pompa si ricava tramite equazioni polinomiali fornite dal costruttore e tipiche della pompa.

Le **condizioni ambientali stagionali** di Matera influenzano notevolmente i consumi e l'evaporazione.

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ministero dell'Università e della Ricerca

PON RICERCA E INNOVAZIONE 2014 - 2020

RISULTATI, CONSUMI E COSTI

Processo con disidratazione	
Massa evaporata totale [kg]	35415
Massa totale dei fanghi [kg]	94440
Massa di fanghi residua [kg]	59025
Differenza [kg]	35415
Consumo energia elettrica [kWh]	12199
Costo energia elettrica [€]	3050
Costo di discarica [€]	10329
Costo totale [€]	13379
Costo per unità di massa [€/kg]	0,142
Conferimento diretto in discarica	
Costo di discarica [€]	16527
Costo per unità di massa [€/kg]	0,175
Confronto	
Risparmio	19%

Dai risultati ottenuti sulla massa di fanghi residua, si è effettuata un'analisi economica preliminare sulla **fattibilità economica del processo di disidratazione**.

La tabella propone i costi elettrici delle pompe e del ventilatore, supponendo un prezzo dell'energia elettrica di 0,25 €/kWh. Il costo di conferimento in discarica dei fanghi si è assunto pari a 0,175 €/kg.

Si evidenzia una differenza del 19% nel costo di smaltimento dei fanghi a parità di massa.