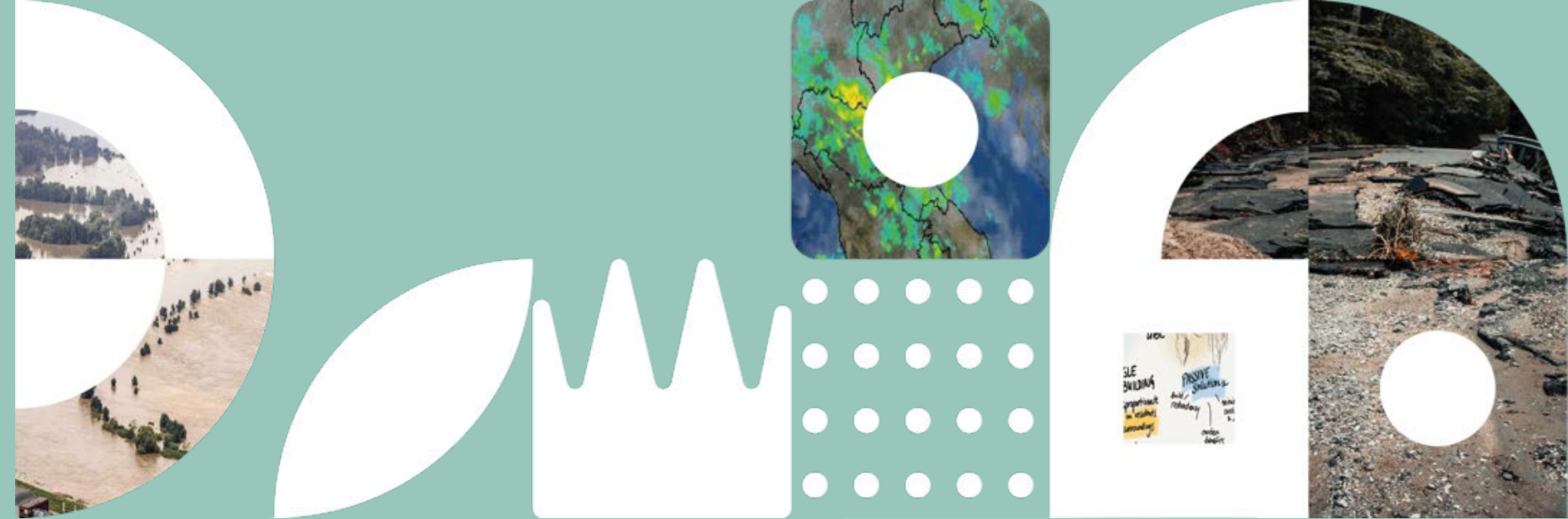


The logo for the RETURN project, featuring a stylized white icon of a leaf and a circular arrow on the left, followed by the word "Return" in a white, rounded, sans-serif font.

WIDeRISE

“Water Infrastructure for Drought Risk Mitigation and Sustainable Energy Self-Production”

Progetto “Multi-Risk sciEnce for resilientT commUnities under a changiNg climate (RETURN)” Codice progetto PE00000005
SPOKE 5 - TS1, denominato “Insediamenti Urbani e Metropolitani” CUP E63C22002000002

OFFTEC



Consultant:
Dipartimento d'Ingegneria
dell'Università degli Studi del Sannio



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

Per ridurre il consumo energetico associato ai sistemi idrici in Italia (circa 7,5 miliardi di kWh/anno) è necessario intervenire sull'efficienza delle reti di distribuzione, affrontando congiuntamente il problema delle perdite idriche reali e della dissipazione energetica legata al controllo delle pressioni.

Il progetto affronta in modo integrato il problema della gestione pressoria e della dissipazione energetica nelle reti idriche, attraverso un framework computazionale strutturato e replicabile.

- Minimizzare le perdite idriche nelle reti urbane;
- Ottimizzare la gestione della pressione;
- Favorire il trasferimento tecnologico e l'adozione su larga scala delle soluzioni proposte;
- Integrare la riduzione delle perdite e il recupero energetico in una metodologia unitaria e replicabile.

Il progetto è articolato in quattro fasi di lavoro (Work Package), organizzate in modo sequenziale ma strettamente integrate tra loro, per garantire coerenza tra analisi idraulica, ottimizzazione pressoria e produzione energetica.

WP 1 Analisi delle condizioni operative di una rete di distribuzione idrica in ambiente urbano

Definizione di una metodologia per ridurre le perdite idriche attraverso il controllo attivo della pressione nella rete

WP 2
In collaborazione con
Università degli Studi del Sannio

WP 3 Definizione di una metodologia per l'autoproduzione energetica mediante l'uso di pompe come turbine (PAT)

In collaborazione con
Università degli Studi del Sannio

Diffusione dei risultati **WP 4**

L'articolazione in Work Package consente di separare concettualmente l'analisi idraulica, il controllo delle pressioni e la produzione energetica, mantenendo una forte integrazione operativa tra le diverse fasi.

I dati sono stati acquisiti a partire da un progetto esecutivo relativo alla rete idrica di un centro urbano, ma potevano essere reperiti anche mediante specifiche analisi di campo.

Caratteristiche geometriche e idrauliche indispensabili:

- Topologia della rete (numero di nodi e rami);
- Numero e caratteristiche dei serbatoi;
- Presenza di eventuali nodi di trasferimento;
- Coordinate geometriche e quote dei singoli nodi di giunzione;
- Caratteristiche delle tubazioni (lunghezze, materiali, diametri nominali, scabrezza);
- Ricostruzione del pattern di portata a partire da una rappresentazione grafica;

Aspetto fondamentale di questa fase è la valutazione delle perdite idriche presenti nella rete. Avendo a disposizione le informazioni sul volume immesso, le perdite sono state stimate mediante un'espressione implementata in EPANET tramite l'emitter coefficient. Quest'ultimo, non disponibile nei dati di progetto, è stato calibrato al fine di riprodurre nel modello numerico il livello di perdite noto, rendendo la simulazione rappresentativa delle reali condizioni di esercizio.

L'obiettivo di riduzione delle perdite (WP2) e di produzione di energia idroelettrica (WP3) è stato affrontato trattando il problema in modo disaccoppiato ma sequenziale, mediante lo sviluppo di due codici che operano in cascata: **HYLOSS + HYPER**, all'interno di una pipeline computazionale integrata basata su simulazione idraulica dinamica (EPANET).

HYLOSS

HYdraulic Leakage Optimization and Simulation System

Input:

- Modello della rete idrica;
- Numero di PRV (valvole di riduzione pressione) da inserire;
- Pressione minima da garantire in rete;

Funzione obiettivo:

- Minimizzazione perdite idriche;

Output:

- posizione PRV;
- setting PRV.

Il codice adotta una struttura gerarchica a due livelli (selezione delle condotte e ottimizzazione dei set-point) interagendo iterativamente con il simulatore EPANET.

HYPER

Hydraulic Pumps for Energy Recovery (Marini et al., 2023)

Input:

- Posizione e setting PRV;
- Portate e salti di pressione indotti da PRV;

Funzione obiettivo:

- Massimizzazione energia prodotta;

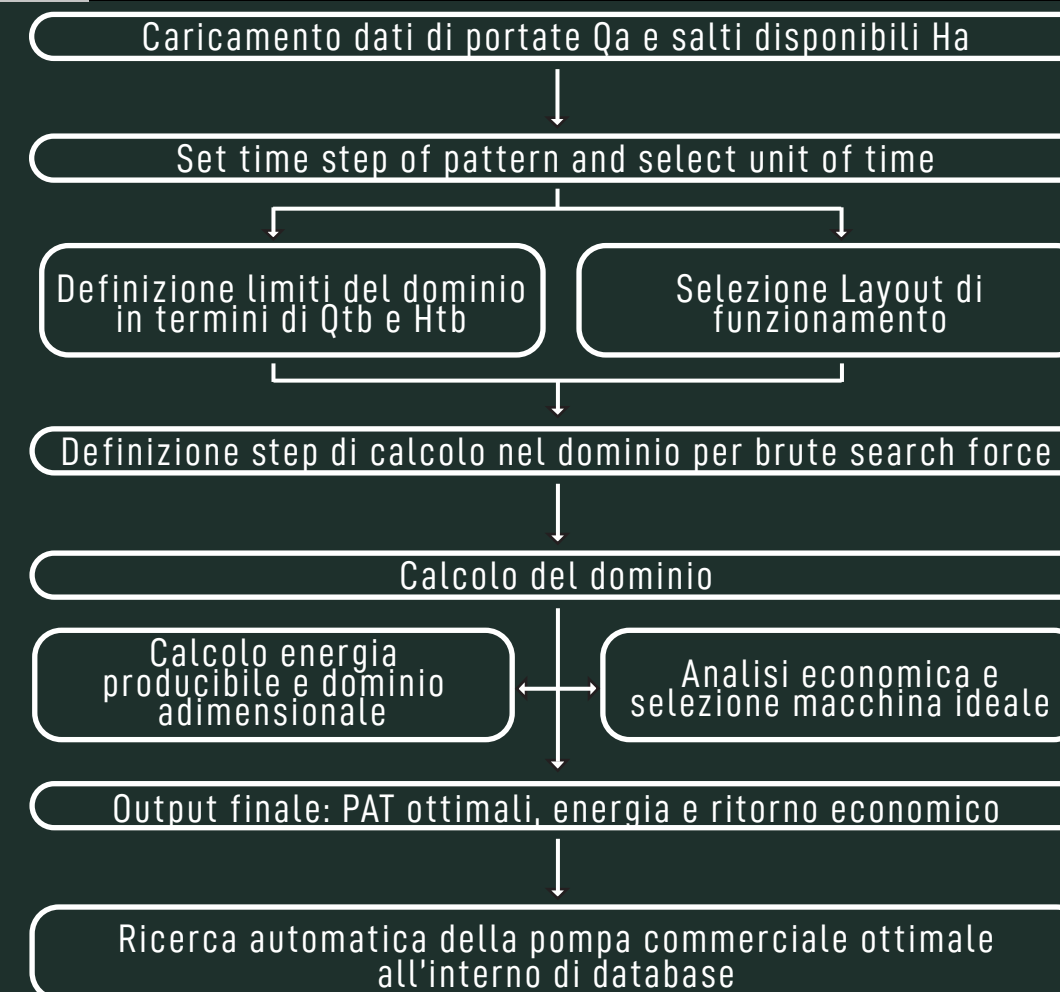
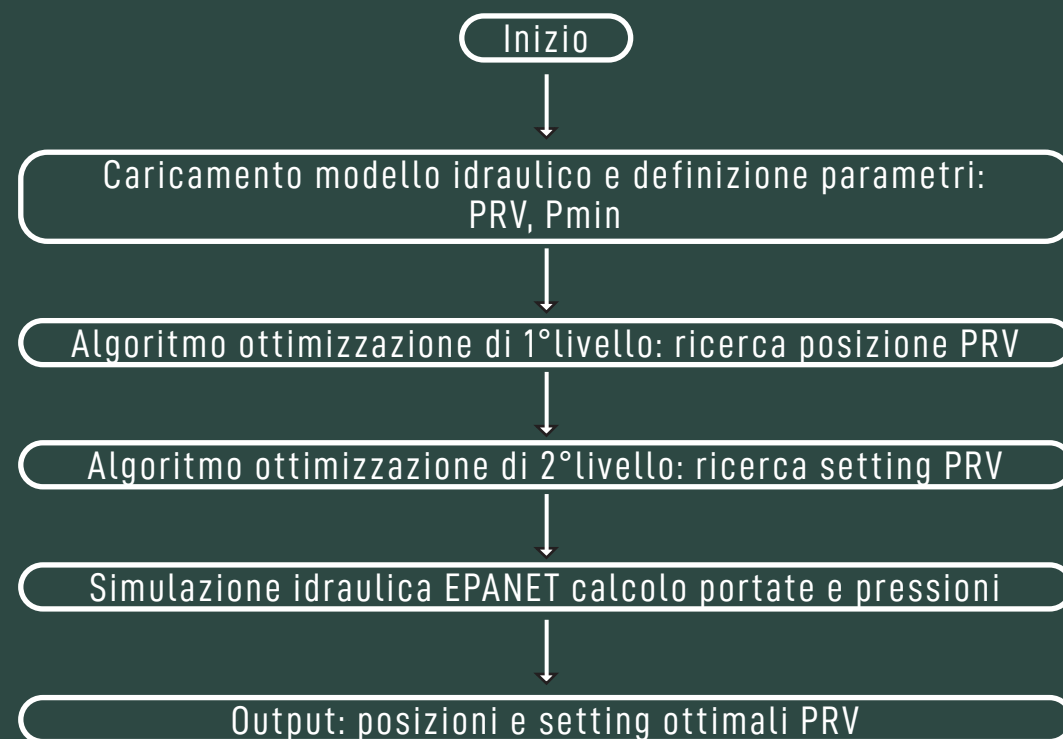
Output:

- Caratteristiche PAT del sistema di produzione di energia idroelettrica da sostituire alle PRV;
- Modello e serie pompa commerciale;
- Valutazione della producibilità energetica e del ritorno economico.

Il modulo consente inoltre la valutazione della producibilità energetica e del ritorno economico, selezionando soluzioni industrialmente realizzabili.

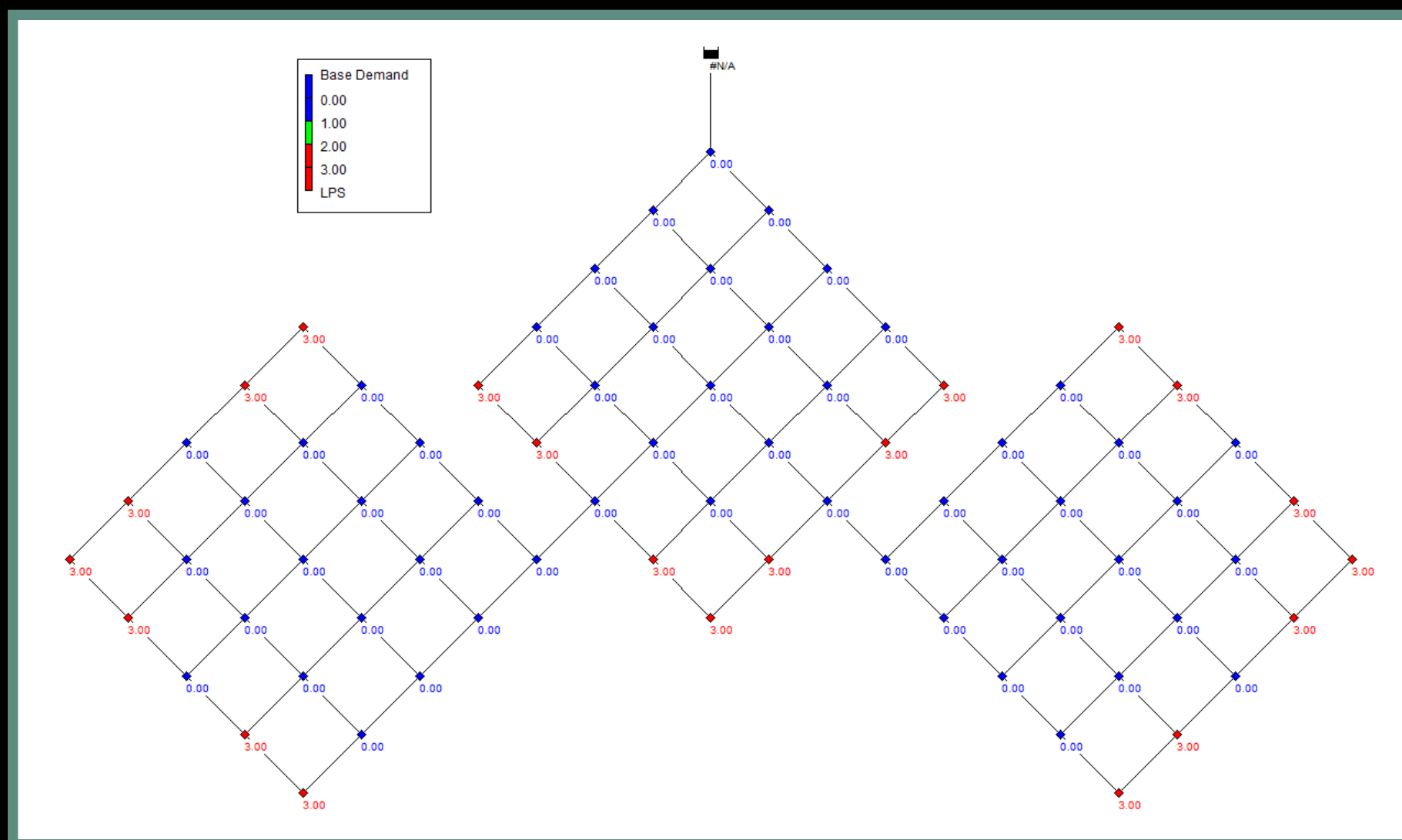
SINTESI METODOLOGICA DEL PROCESSO COMPLESSIVO

Diagramma di flusso del codice



Il diagramma sintetizza l'intero processo computazionale, dalla simulazione idraulica della rete fino alla selezione della pompa commerciale ottimale, integrando valutazioni idrauliche, energetiche ed economiche all'interno di un'unica procedura strutturata.

APPLICAZIONE SU UNA RETE IDRICA DI RIFERIMENTO

Rete Idrica suddivisa in 3 distretti

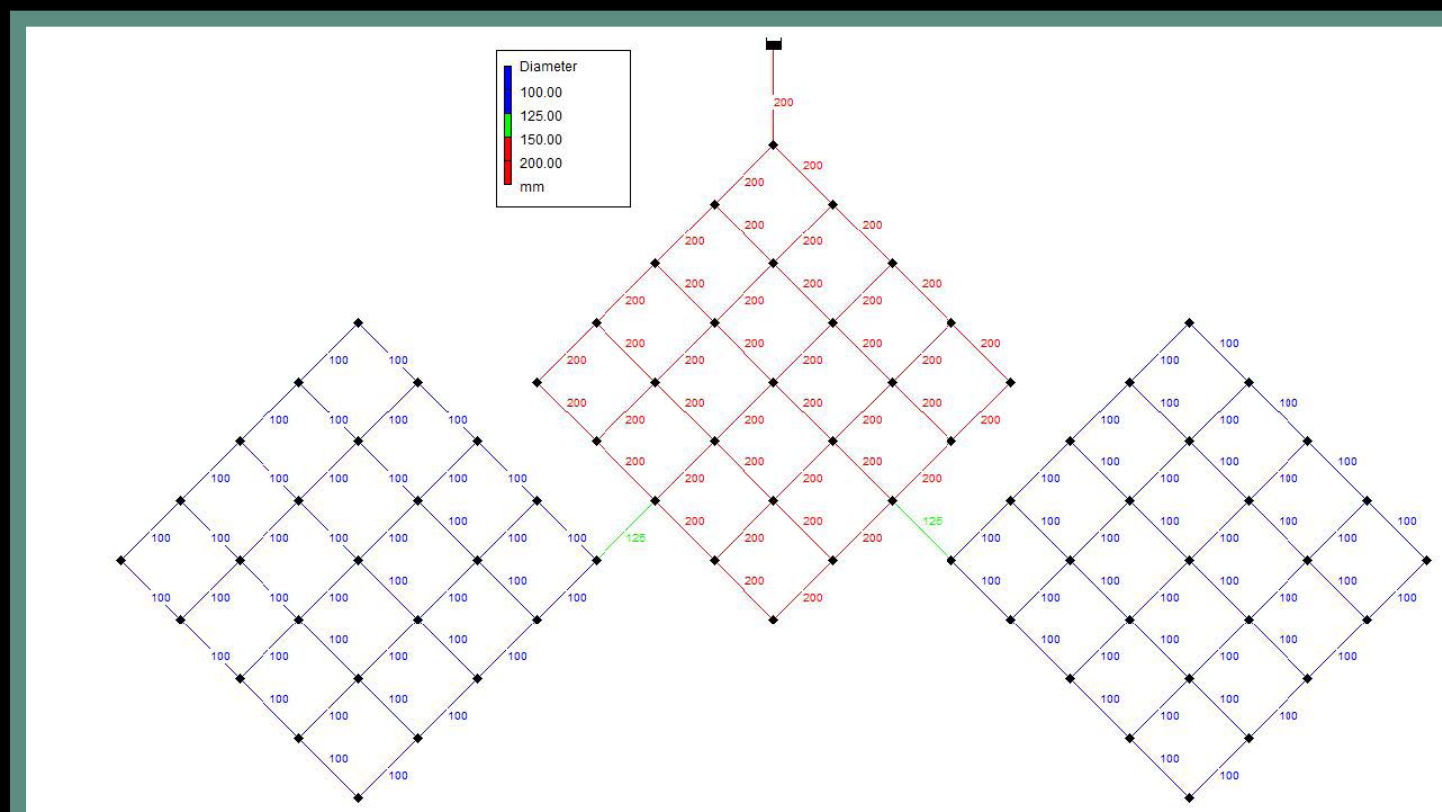
- 1 serbatoio (quota 150 m)
- 75 nodi di cui 21 di domanda (7 per distretto) con base demand pari a 3 L/s
- ogni distretto ha una quota geodetica: 110 m / 60 m / 50 m
- emitter coefficient costante (0.10)
- 63 lati
- lunghezza dei lati costante: 100 m
- Diametri: 200 mm / 125 mm / 100 mm

- Scenario di riferimento: 24 ore
- Volume idrico erogato alle utenze: 5443 m³
- Volume idrico immesso in rete: 10281 m³
- Volume perdite idriche: 4838 m³
- Percentuale perdite idriche: 47%

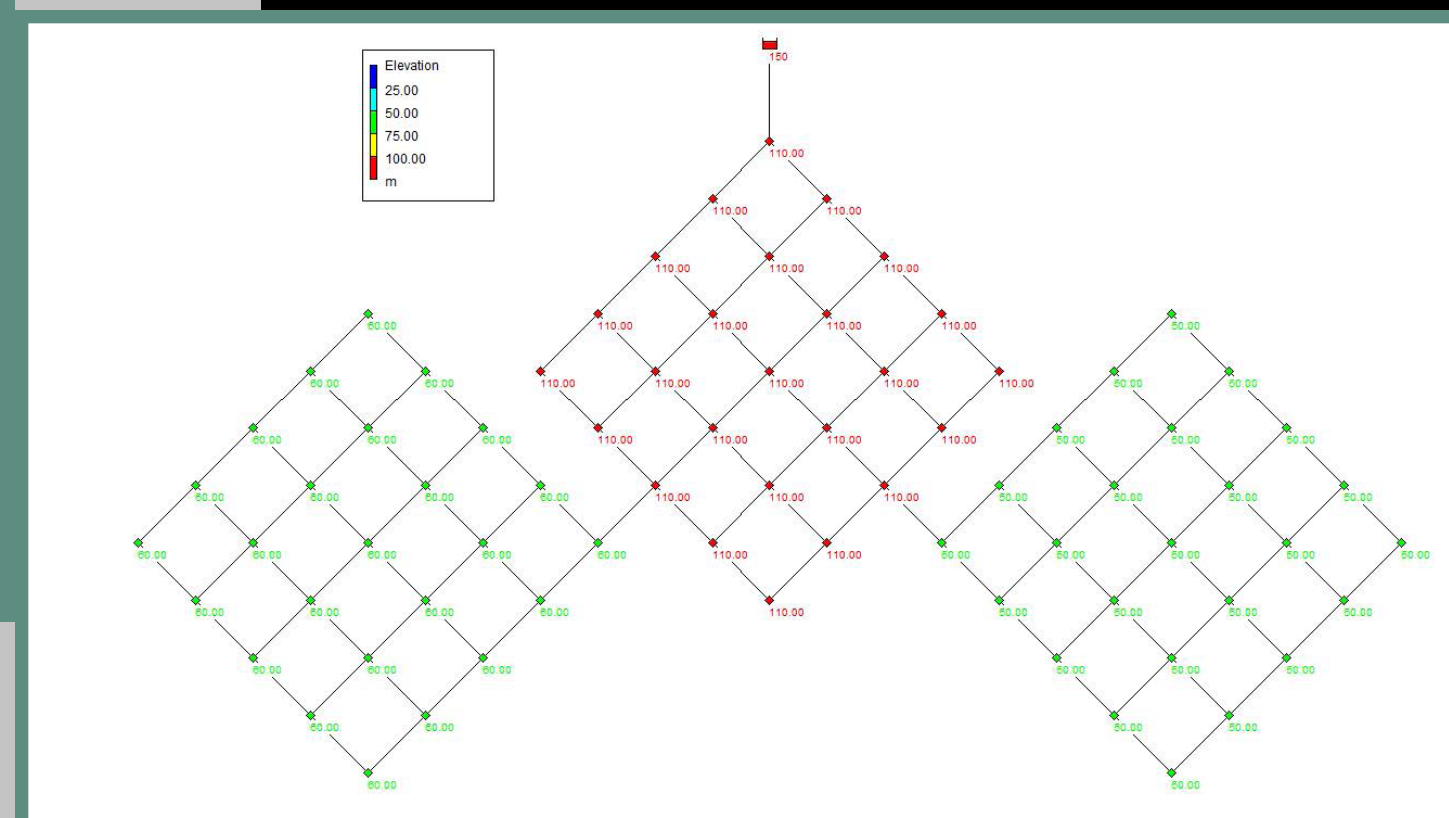
La rete di riferimento costituisce un caso di validazione controllata, utilizzato per testare l'efficacia della metodologia prima dell'applicazione a reti reali di diversa morfologia e scala dimensionale.

APPLICAZIONE SU UNA RETE IDRICA DI RIFERIMENTO

Rappresentazione diametri nominali



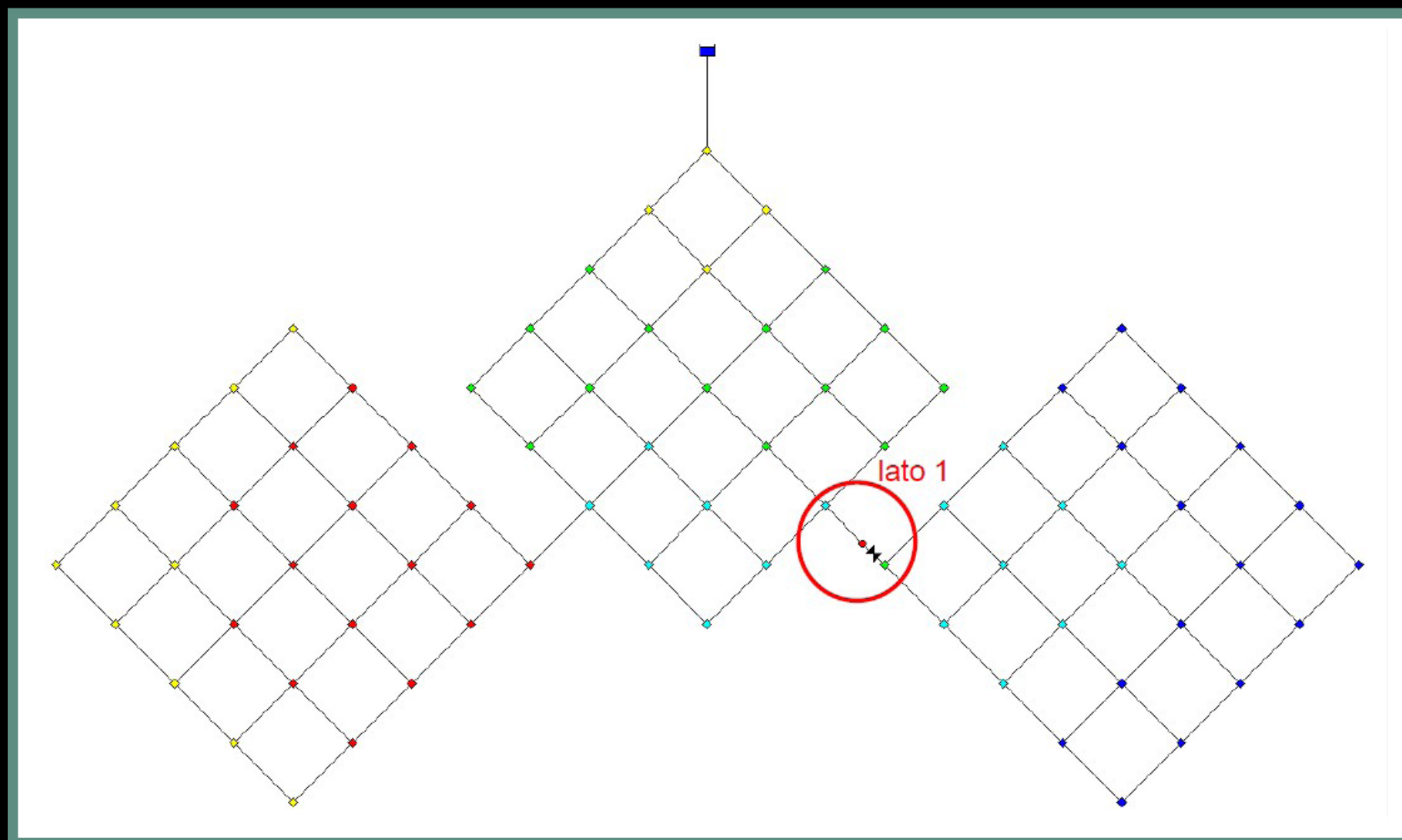
Rappresentazione quote



Le caratteristiche geometriche e altimetriche della rete costituiscono input fondamentali del modello idraulico, influenzando la distribuzione delle pressioni e, di conseguenza, l'entità delle perdite idriche.

INDIVIDUAZIONE DELLE PRV ALL'INTERNO DELLO SCHEMA DI RETE

HYLOSS



POSIZIONE DI 1 PRV

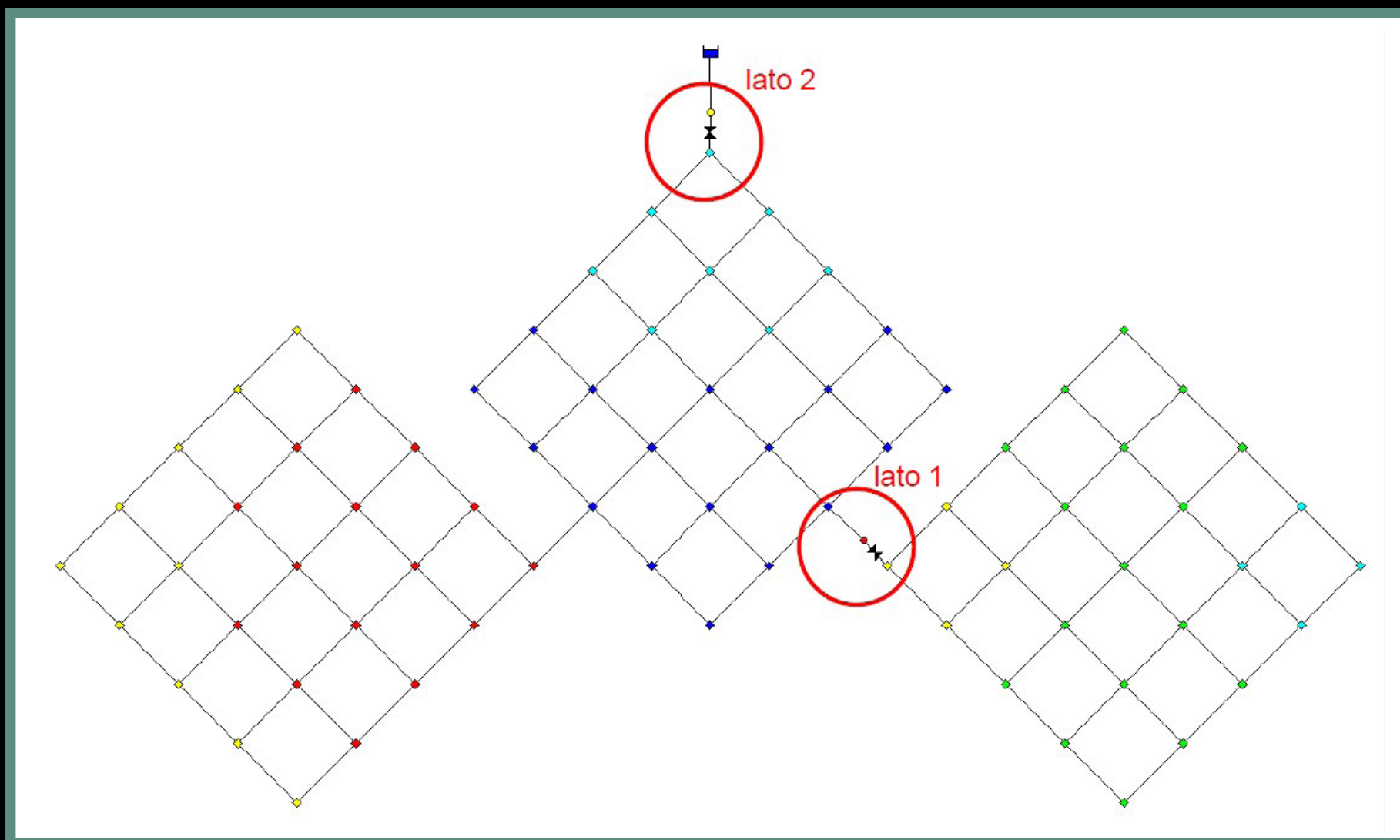
P_{MIN} nodi = 20 m
 PRV sul lato 1
 PRV setting: 38.6 m

- Volume idrico erogato alle utenze: 5443 m³
- Volume idrico immesso in rete: 10281 m³
- Volume perdite idriche: 4838 m³
- Percentuale perdite idriche: 47%

L'inserimento di una singola PRV consente una prima riduzione delle pressioni in rete, mantenendo il vincolo di pressione minima ai nodi e generando un effetto iniziale di contenimento delle perdite.

INDIVIDUAZIONE DELLE PRV ALL'INTERNO DELLO SCHEMA DI RETE

HYLOSS



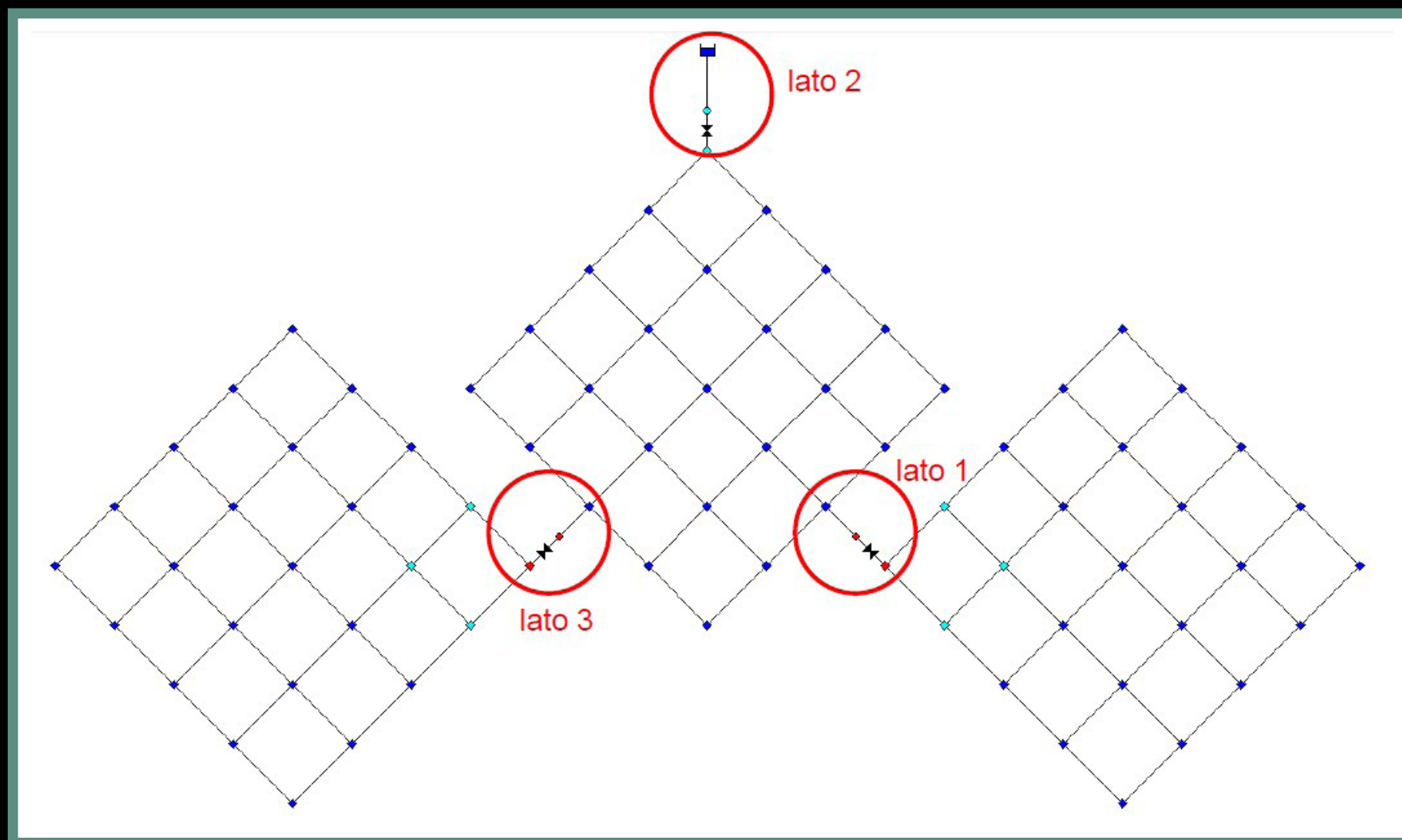
POSIZIONE DI 2 PRV

P_{MIN} nodi = 20 m
 PRV sul lato 1 e 2
 PRV setting: 38.6 m 24.5 m

- Volume idrico erogato alle utenze: 5443 m³
- Volume idrico immesso in rete: 9644 m³
- Volume perdite idriche: 4200 m³
- Percentuale perdite idriche: 43%

L'introduzione di una seconda PRV consente una migliore distribuzione del controllo pressorio lungo la rete, determinando una riduzione più significativa del volume immesso e delle perdite complessive rispetto allo scenario con una sola valvola.

INDIVIDUAZIONE DELLE PRV ALL'INTERNO DELLO SCHEMA DI RETE

HYLOSS

POSIZIONE DI 3 PRV

 $P_{\text{MIN}} \text{ nodi} = 20 \text{ m}$

PRV sul lato 1, 2 e 3

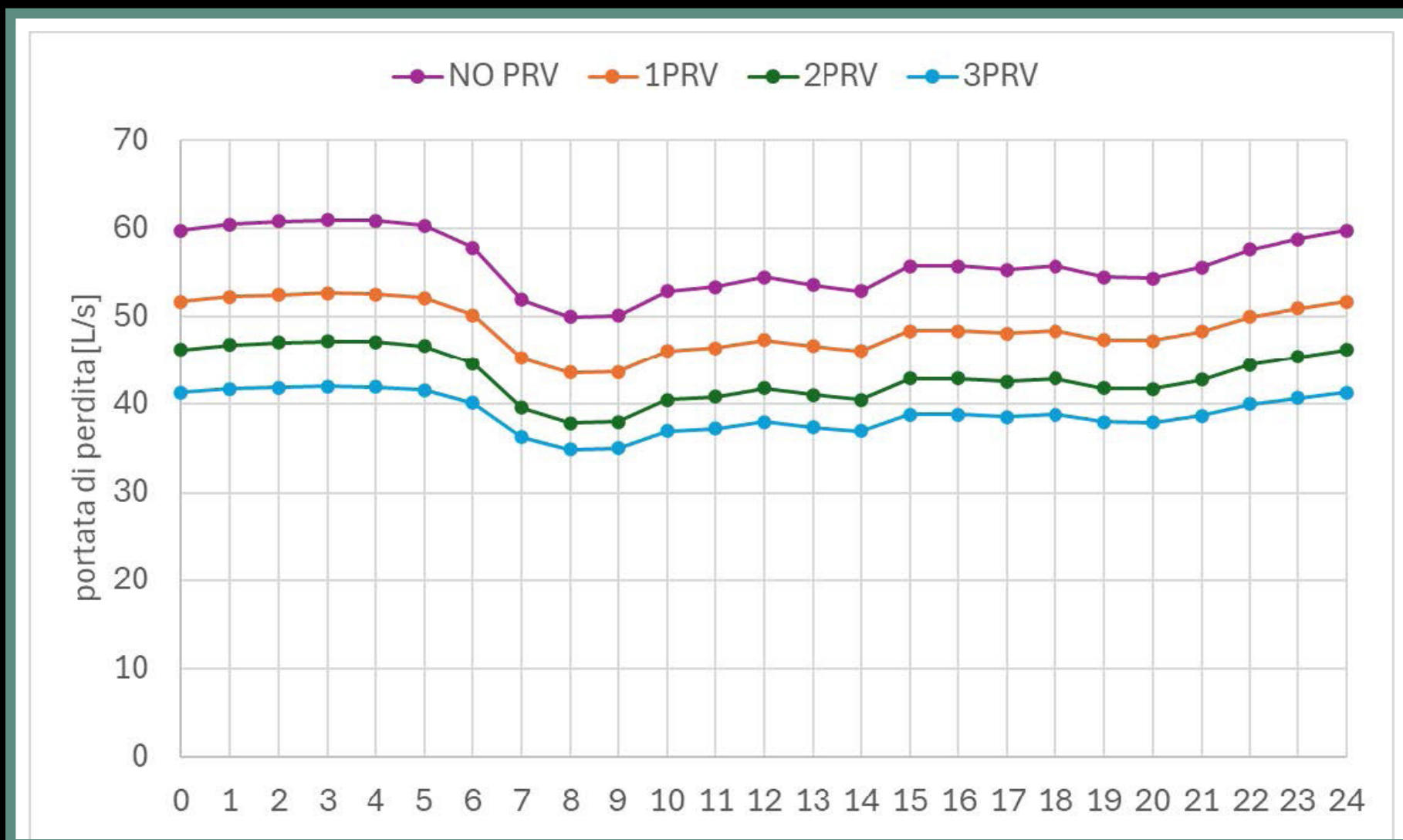
PRV setting: 38.6 m / 24.4 m / 38.6 m

- Volume idrico erogato alle utenze: 5443 m³
- Volume idrico immesso in rete: 9165 m³
- Volume perdite idriche: 3721 m³
- Percentuale perdite idriche: 41%

La configurazione con tre PRV rappresenta una soluzione efficace in termini di riduzione delle perdite, garantendo il rispetto dei vincoli di pressione e mostrando un miglioramento significativo rispetto agli scenari precedenti, a fronte di un aumento della complessità impiantistica.

INDIVIDUAZIONE DELLE PRV ALL'INTERNO DELLO SCHEMA DI RETE

HYLOSS



L'analisi evidenzia come i benefici marginali tendano a ridursi all'aumentare del numero di PRV installate.

Il volume di perdita si ricava dall'integrazione della portata di perdita che varia durante il periodo di riferimento perché variano le pressioni in rete.

All'aumentare del numero di PRV da allocare si riducono le perdite idriche.

1 PRV: Volume perdite idriche = 4838 m³

2 PRV: Volume perdite idriche = 4200 m³

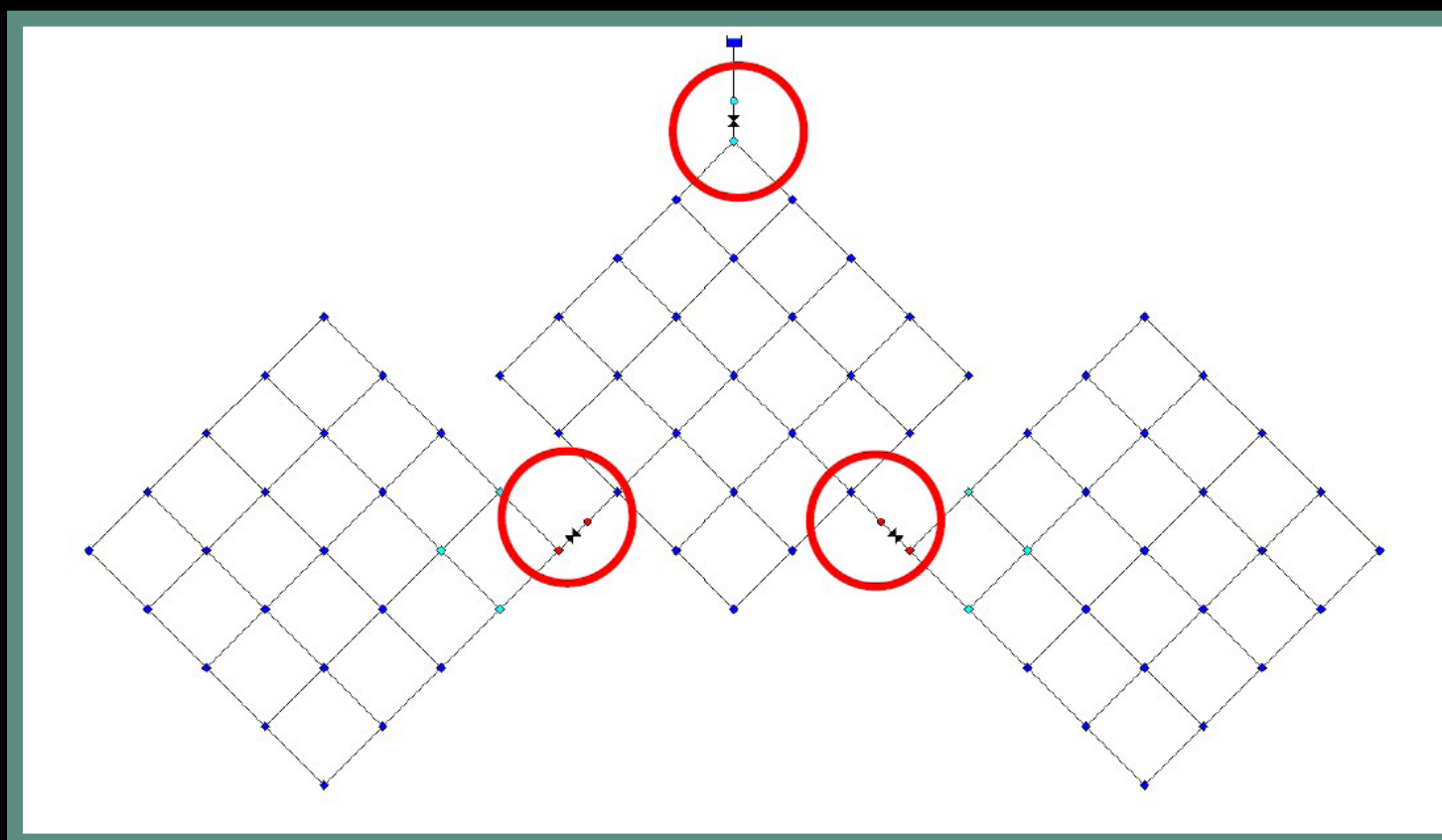
3 PRV: Volume perdite idriche = 3721 m³

Si osserva una riduzione progressiva delle perdite all'aumentare del numero di PRV installate; tuttavia, i benefici marginali tendono a ridursi oltre una determinata soglia, evidenziando l'importanza di un'ottimizzazione del numero e del posizionamento dei dispositivi.

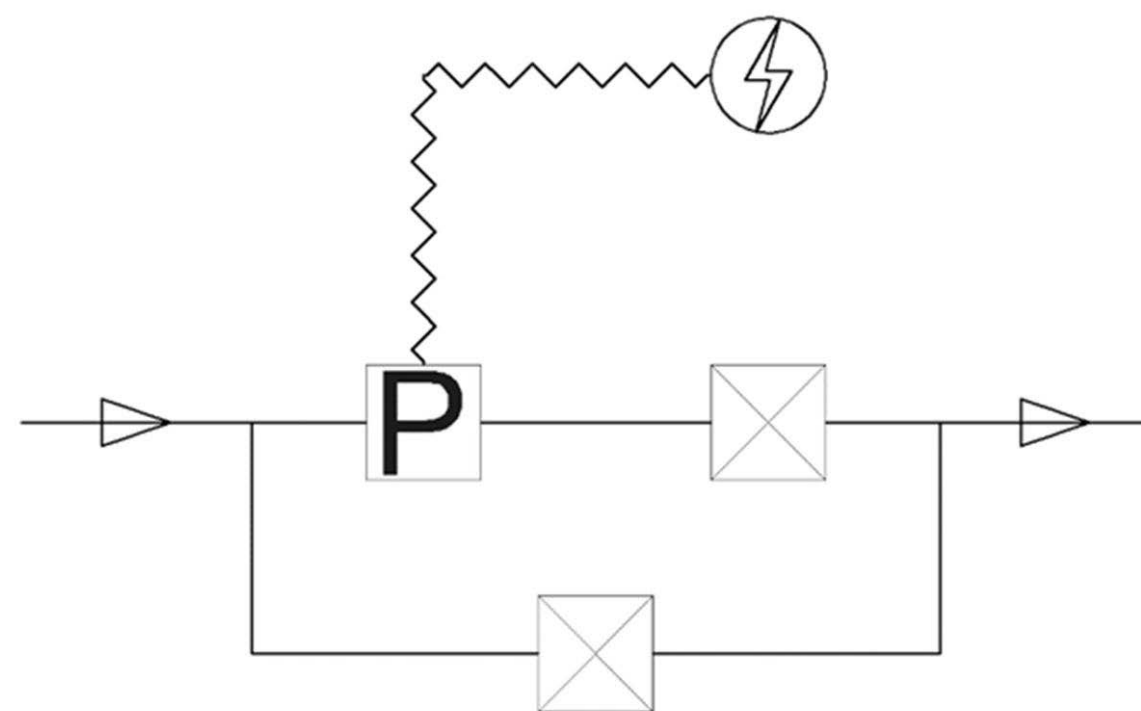
SCelta DELLE PAT DA INSERIRE NEL SISTEMA DI PRODUZIONE IDROELETTRICA

Rappresentazione diametri nominali

Rappresentazione quote



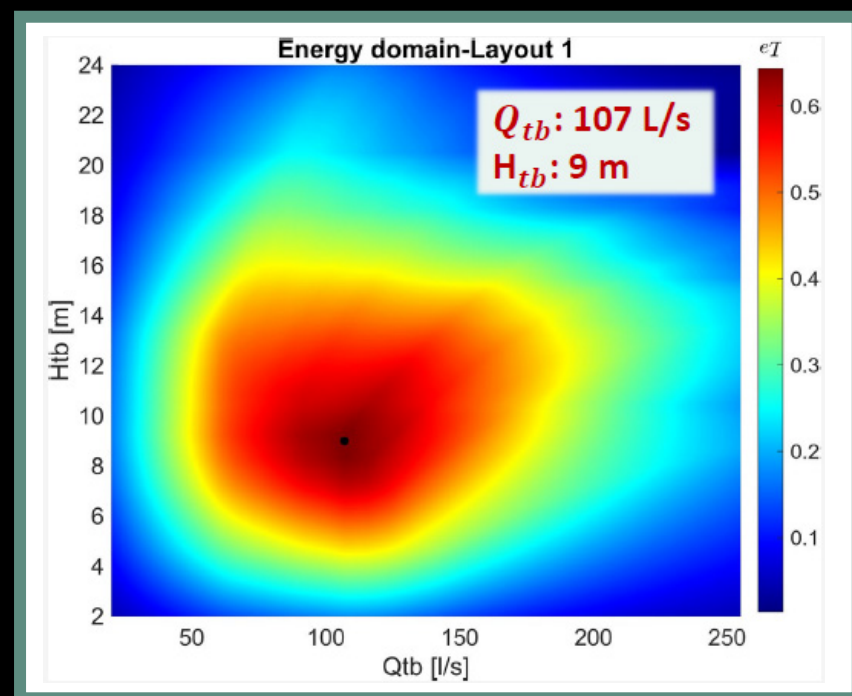
La configurazione a regolazione idraulica con by-pass garantisce la continuità del servizio e il corretto funzionamento del sistema in tutte le condizioni operative.



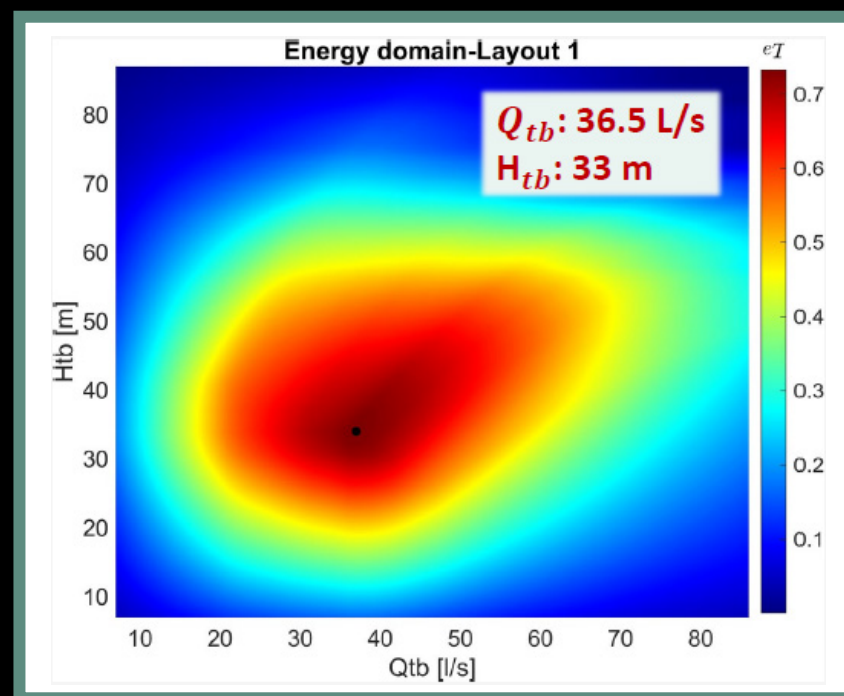
I risultati ottenuti mediante HYLOSS per il posizionamento delle PRV costituiscono l'input per la fase di recupero energetico, nella quale le valvole individuate vengono valutate per la possibile sostituzione con pompe funzionanti come turbine (PAT), nel rispetto dei vincoli idraulici di esercizio.

SCelta DELLE PAT DA INSERIRE NEL SISTEMA DI PRODUZIONE IDROELETTRICA

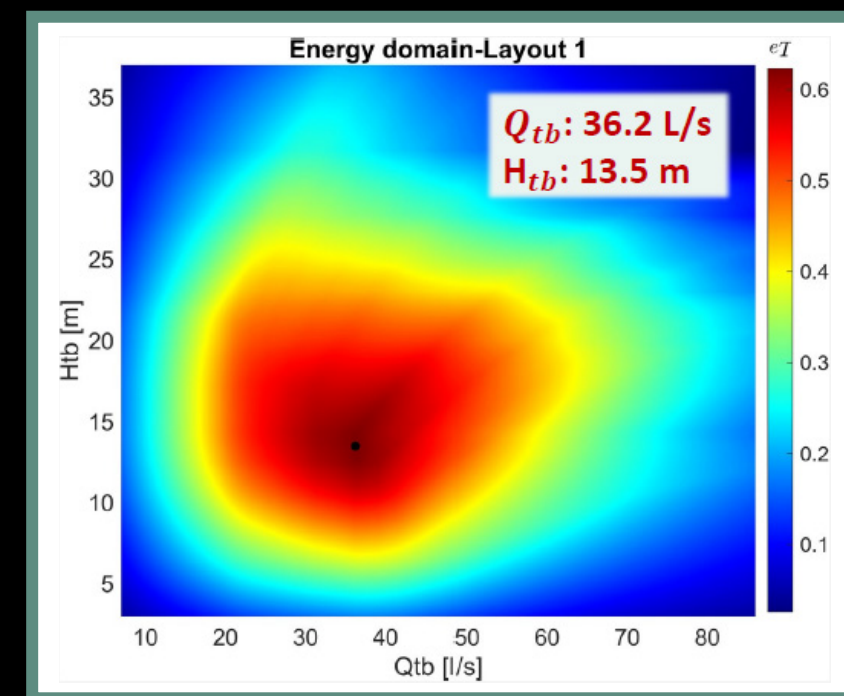
Caratteristiche PAT LATO 1



Caratteristiche PAT LATO 2



Caratteristiche PAT LATO 3



POSIZIONE DI INSTALLAZIONE	MODELLO E SERIE POMPA COMMERCIALE	Q _{PB}	H _{PB}	D	N POMPA	η _{PB}	Q _{TB}	H _{TB}	η _{TB}	E
		[L/s]	[M]	[M]	[RPM]	[-]	[L/s]	[M]	[-]	[KWH/DAY]
LATO 1	ETANORM200-150-250,269	[M] 80.2	8.0	0.269	1500	89.7%	87.5	9.1	89.7%	116.9
LATO 2	LOWARAE-NSC 65-160/110	30.4	26.4	0.159	0.159	81.4%	35.8	33.7	81.4%	164.1
LATO 3	LOWARAE-NSC 100-200/40	31.8	10.1	0.197	1500	82.6%	37.1	12.7	82.6%	57.4

I risultati evidenziano produzioni energetiche significative, con valori fino a oltre 160 kWh/giorno per singola installazione nei casi più favorevoli. Le macchine selezionate operano in prossimità del punto di massimo rendimento (BEP), garantendo coerenza tra condizioni idrauliche disponibili e prestazioni energetiche.

VALIDAZIONE DELLA METODOLOGIA SU RETI REALI

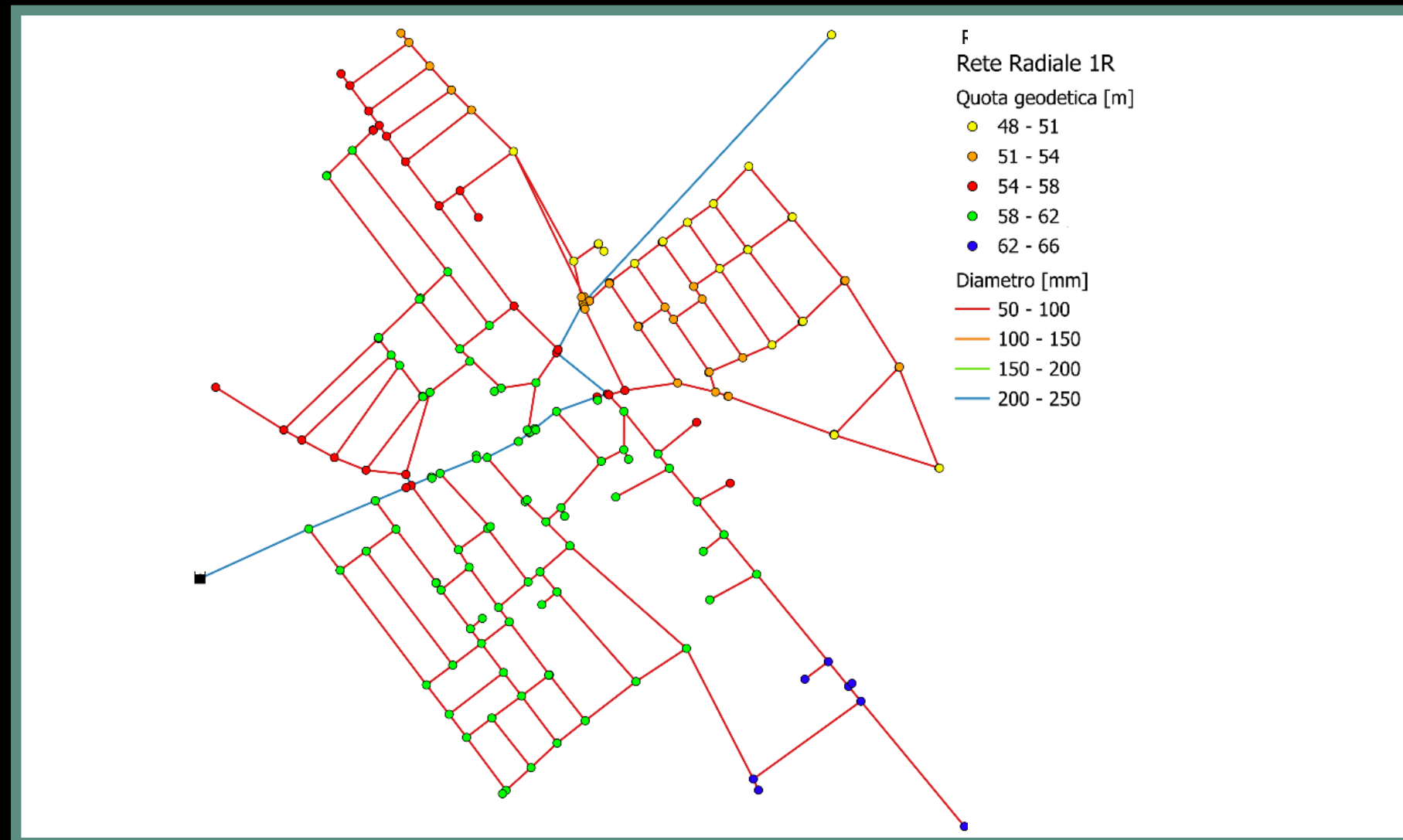
Al fine di verificare la robustezza del framework HYLOSS + HYPER, la metodologia è stata applicata a reti idriche reali caratterizzate da differenti configurazioni morfologiche e strutturali.

Le reti analizzate presentano differenze significative in termini di:

- Numero di nodi e condotte;
- Struttura di alimentazione (singolo o multiplo serbatoio);
- Distribuzione altimetrica;
- Articolazione dei rami secondari.

L'obiettivo è stato valutare la capacità del modello di adattarsi automaticamente alla topologia della rete, garantendo soluzioni ottimizzate in ciascun caso.

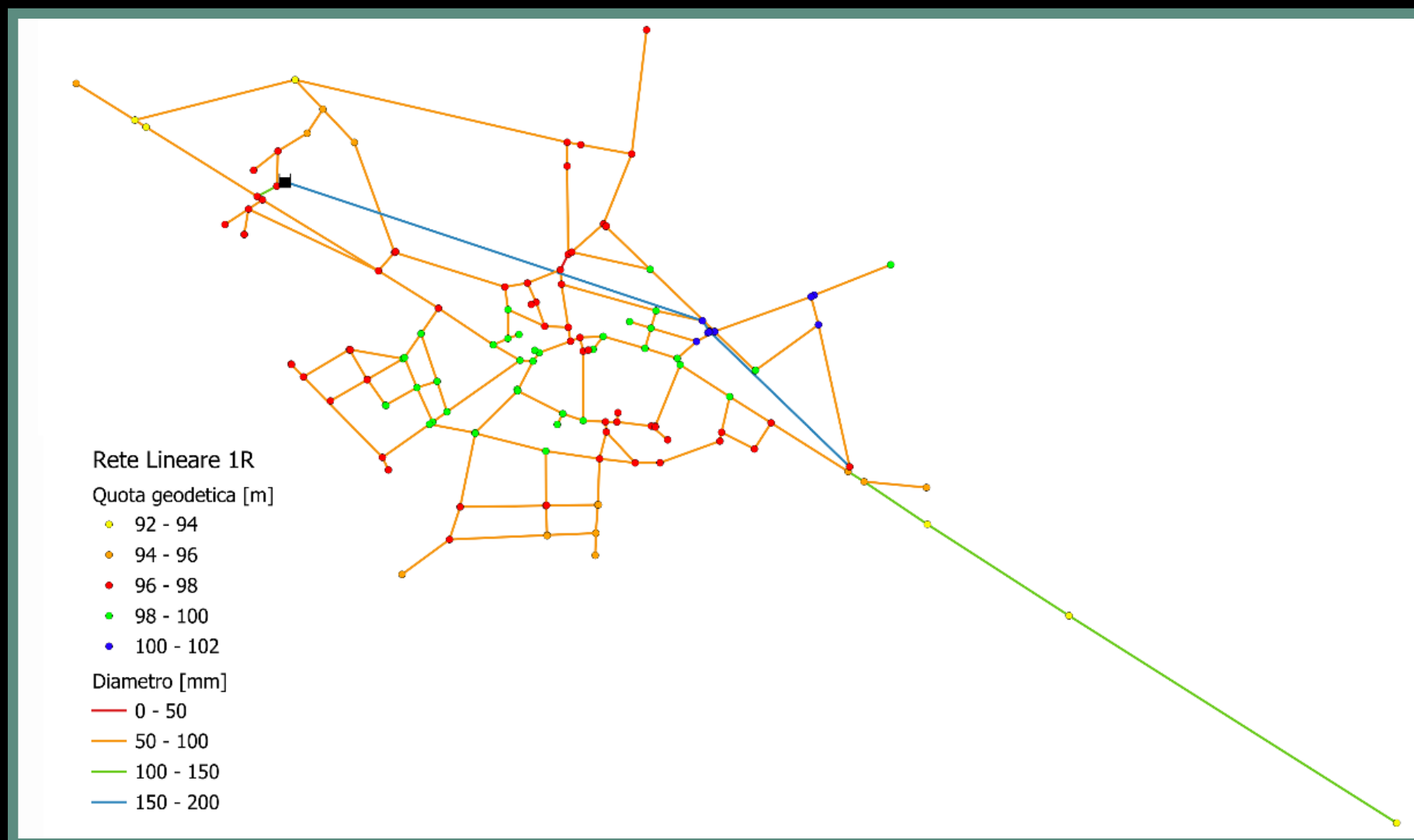
RETE RADIALE 1R – CARATTERISTICHE E RISULTATI

Caratteristiche principali:

- ~200 nodi;
- ~250 condotte;
- Alimentazione da singolo serbatoio;
- Struttura prevalentemente ramificata.

La rete presenta una distribuzione delle pressioni fortemente influenzata dalla distanza dal punto di alimentazione.

RETE LINEARE 1R – CARATTERISTICHE E RISULTATI

**Caratteristiche principali:**

- ~140 nodi;
- Configurazione a sviluppo longitudinale;
- Limitata articolazione dei rami secondari.

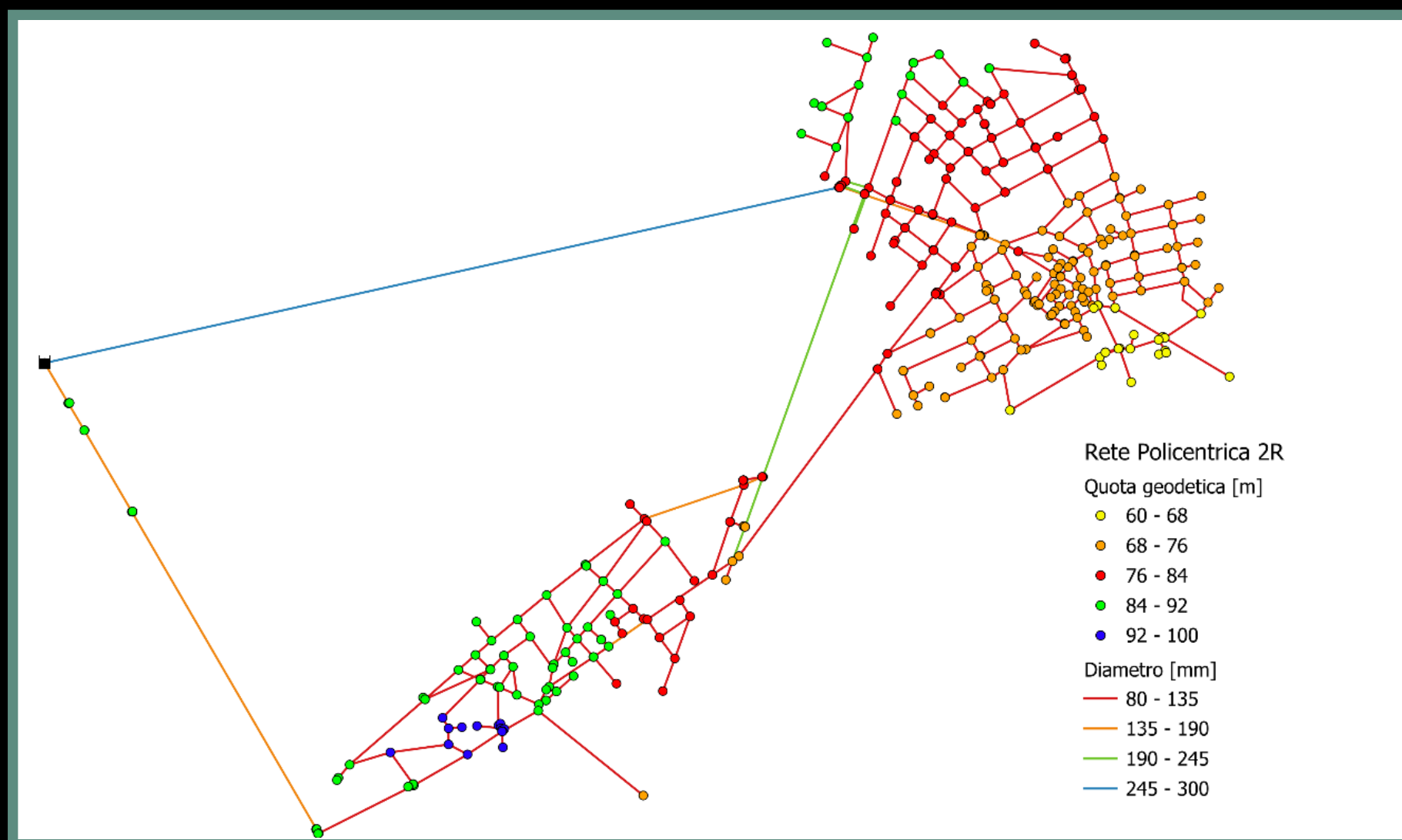
La distribuzione delle pressioni risulta più uniforme lungo l'asse principale..

Risultati HYLOSS

- Riduzione perdite $\approx -16\%$;
- Benefici più contenuti rispetto alla rete radiale.

La minore complessità strutturale riduce l'effetto moltiplicativo del controllo pressorio, limitando il potenziale di riduzione delle perdite.

RETE POLICENTRICA 2R – CARATTERISTICHE E RISULTATI

**Caratteristiche principali:**

- ~433 nodi;
- ~510 condotte;
- Doppio serbatoio;
- Configurazione complessa multi-alimentazione.

La rete presenta una distribuzione delle pressioni fortemente influenzata dalla distanza dal punto di alimentazione.

Risultati HYLOSS

- Riduzione perdite $\approx -36\%$;
- Numero limitato di PRV necessario per il controllo efficace;
- Elevata sensibilità al controllo pressorio.

La struttura radiale amplifica l'effetto della regolazione di pressione lungo le direttrici principali, rendendo l'intervento particolarmente efficace.

CONFRONTO SINTETICO DELLE CONFIGURAZIONI

RETE	NODI	STRUTTURA	RIDUZIONE PERDITE
3 DISTRETTI	75	MULTI-LIVELLO	- 30%
RADIALE 1R	~200	RAMIFICATA	- 36%
LINEARE 1R	~140	LONGITUDINALE	- 16%
POLICENTRICA 2R	~433	MULTI-SERBATOIO	- 30%

L'efficacia del controllo pressorio dipende dalla topologia della rete.

Il modello adatta automaticamente:

- Posizione delle PRV;
- Setting ottimali;
- Configurazione energetica.

La variabilità dei risultati conferma la necessità di un approccio ottimizzato specifico per ciascuna configurazione di rete.

La produzione energetica risulta influenzata da:

- Salti di pressione disponibili;
- Distribuzione altimetrica;
- Numero di punti di regolazione.

Le reti con maggiori dislivelli mostrano potenziale energetico più elevato.

Non tutte le configurazioni PRV risultano economicamente convertibili in PAT: la selezione è guidata dall'analisi tecnico-economica integrata.

Le applicazioni su reti differenti dimostrano che:

- Il modello è scalabile da 75 a oltre 400 nodi;
- L'algoritmo mantiene stabilità computazionale;
- La metodologia è replicabile su sistemi reali;
- Il framework supporta decisioni tecnico-economiche per il gestore.

WIDeRISE rappresenta un sistema generalizzabile per la gestione sostenibile ed energeticamente consapevole delle reti di distribuzione idrica.

WIDeRISE



Consultant:
Dipartimento d'Ingegneria
dell'Università degli Studi del Sannio



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA