Festival dell'acqua 2022 un evento promosso e organizzato da UTILITALIA FEDERAZIONE UTILITIES acqua | ambiente | energia in collaborazione con smat gruppo

Il Machine learning nella gestione predittiva dei consumi idrici nella città di Padova

Lorenzo Tirello

22.09.2022

Introduzione

AcegasApsAmga S.p.A. è una multiutility che offre serv izi a oltre 1,2 milioni di cittadini e imprese in 124 Comuni di Veneto e Friuli Venezia Giulia. Leader nella gestione del sistema idrico integrato, nella distribuzione di energia elettrica e gas, nei serv izi ambientali, nell'illuminazione pubblica e nella semaforica, AcegasApsAmga è parte del Gruppo Hera.

Ciclo idrico integrato di Padova

Acqua potabile immessa in rete:
41 363 000 m3/anno
Rete acquedotto:
2 382 km

Struttura dell'acquedotto di Padova

48 punti di captazione
3 impianti di potabilizzazione
6 stazioni di sollev amento
299 368 abitanti serviti

Il lav oro che verrà illustrato è frutto della collaborazione tra:

AcegasApsAmga

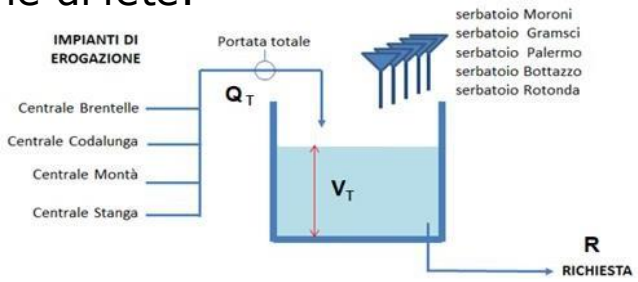
HERAtech

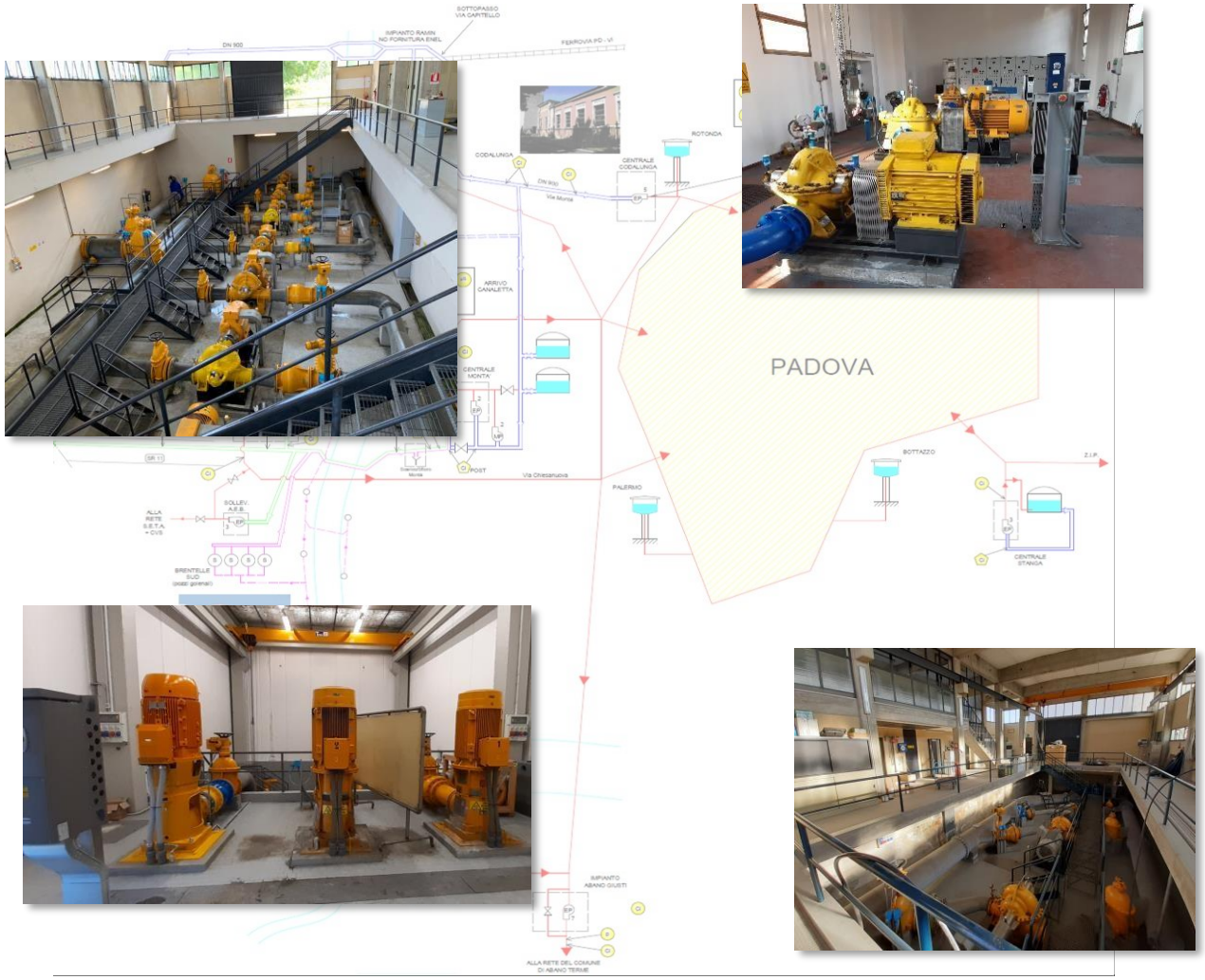
L'automazione per la gestione del servizio idrico di Padova

Sul sistema di Telecontrollo Fluidi, gestito da HERA Tech, è attiva dal 2015 una logica automatica che ha l'obiettivo principale di gestire l'acquedotto della città di Padova.

Prima di questa evoluzione la gestione era demandata ad operatori, che azionavano manualmente le pompe secondo la propria esperienza.

Oggi l'**automazione regola autonomamente il livello di 5 serbatoi** (Moroni, Gramsci, Palermo, Bottazzo, Rotonda) **modificando la portata di erogazione da 4 centrali** (Brentelle, Codalunga, Montà, Stanga). Il livello medio di questi serbatoi è infatti indice diretto della pressione di rete.



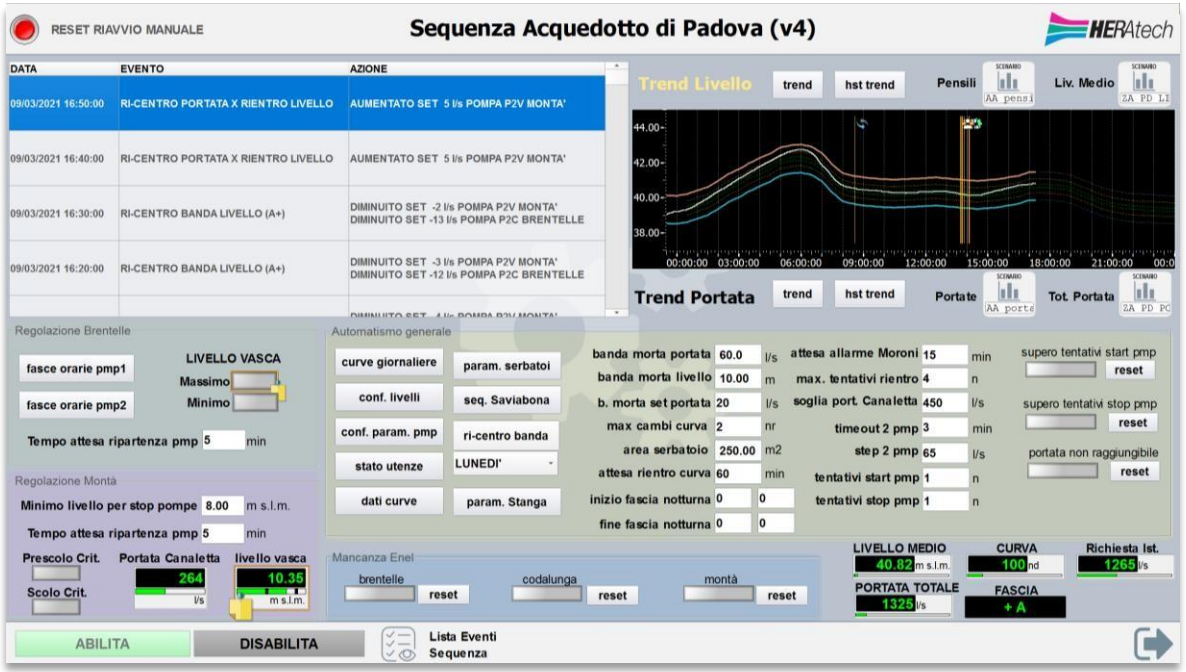


Festival dell'acqua 2022
un evento promosso e organizzato da
UTILITALIA FEDERAZIONE UTILITIES acqua | ambiente | energia
in collaborazione con
smat gruppo

Scenario di Applicazione

Ogni minuto l'automazione calcola il livello medio pesato dei serbatoi pensili e periodicamente varia la portata in erogazione delle centrali per mantenere il livello medio all'interno di una fascia prestabilita,

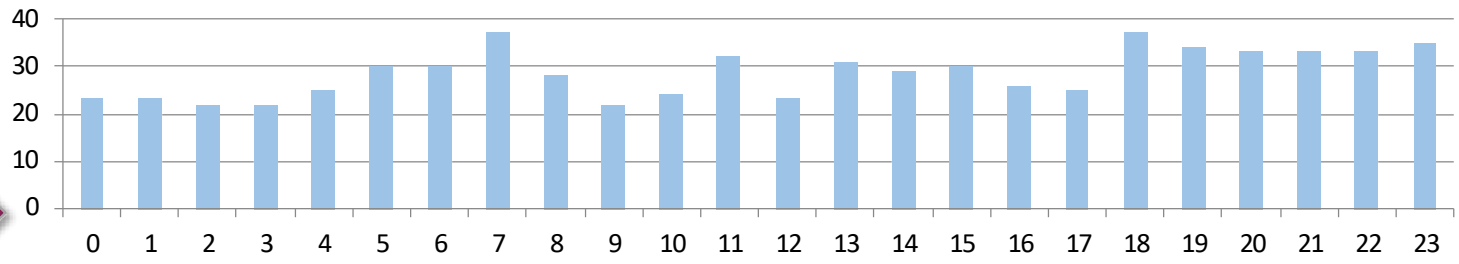
L'automazione tiene conto anche dell'andamento della richiesta e garantisce i corretti ricambi idrici giornalieri dei serbatoi pensili.



Tot. comandi-setpoint inviati dal sistema PVSS con logiche Automatiche per la gestione del servizio Idrico di Padova

687/giorno (2,09 CMD/min)

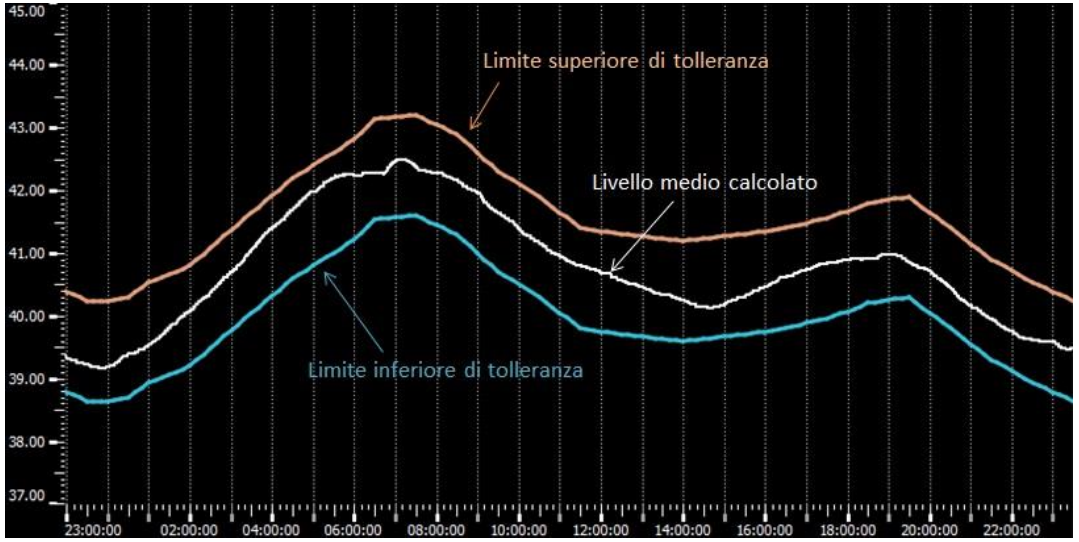
Distribuzione giornaliera per fascia oraria



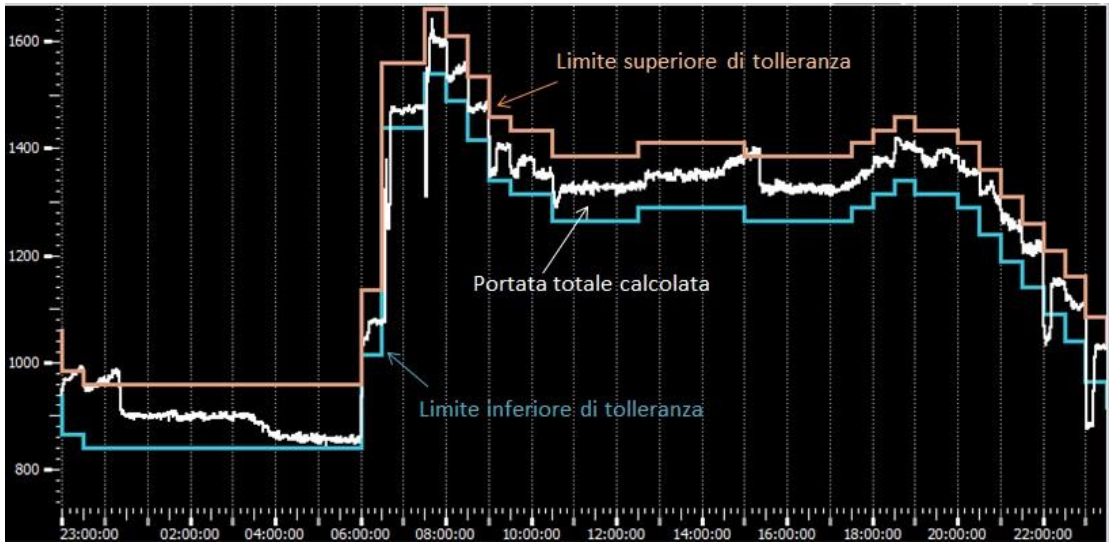
Scenario di Applicazione

Prima dell'implementazione del *Machine Learning*, AcegasApsAmga stimava il consumo totale giornaliero di acqua sulla base di dati storici e statistici disponibili. Dopodiché, definiva **una curva di livello medio da rispettare**, che indicava, in sostanza, la pressione di rete da seguire durante le giornata. A tale curva veniva applicata poi una banda di tolleranza. Nella definizione del livello, AcegasApsAmga teneva anche conto della funzione di accumulo, seppur molto piccoli, svolto dai pensili.

CURVA DEL LIVELLO MEDIO



CURVA DELLA PORTATA TOTALE



Oltre alla curva ideale di livello, l'automazione implementata necessitava come secondo obiettivo il rispetto di una curva di portata erogata totale

Scenario di Applicazione

La **selezione delle «curve obiettivo» veniva effettuata manualmente** impostando un calendario e definendo la forma di un numero limitato di curve tipo

Parametri Automatismo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
gen.	105K	105K	105K	105K	105K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K
feb.	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	105K	110K	110K	110K	110K	110K		
mar.	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K
apr.	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	105K	110K	105K	105K	110K	110K	105K	110K	110K	
mag.	105K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	110K	110K	110K	105K	105K	100K	105K	100K	105K	105K	105K
giu.	105K	100K	105K	110K	110K	110K	115K	110K	100K	115K	115K	115K	110K	115K	110K	105K	115K	115K	115K	120K	120K	110K	110K	120K	120K	120K	120K	120K	115K	110K	
lug.	125K	120K	120K	115K	120K	120K	110K	120K	120K	120K	120K	120K	110K	110K	120K	115K	115K	110K	115K	110K	105K	115K	115K	115K	115K	115K	110K	110K	115K	115K	115K
ago.	115K	115K	110K	105K	115K	115K	115K	110K	110K	105K	105K	110K	105K	105K	100K	100K	100K	105K	110K	110K	110K	110K	110K	110K	105K	110K	115K	115K	115K	115K	115K
set.	110K	115K	115K	115K	115K	115K	115K	110K	115K	115K	115K	115K	115K	115K	110K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	110K	110K	110K	115K	115K	140K	145K	115K	
ott.	115K	115K	110K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	115K
nov.	145K	140K	145K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	115K	115K	140K	145K	115K	115K	115K	110K	110K	140K	145K	110K	110K	105K	110K	110K	140K	
dic.	145K	105K	110K	110K	110K	110K	140K	145K	105K	110K	110K	110K	110K	140K	145K	105K	110K	110K	110K	110K	140K	145K	105K	110K	145K	105K	110K	140K	145K	105K	110K

Conferma

Il nome della curva rappresenta il totale erogatogiornaliero in m3. (Es. 105k→ 105000 m3 erogati)

Parametri Automatismo

Tipi curve: 115K

- 3 SERBATOI
- 4 SERBATOI
- 5 SERBATOI

ORA	PORTATA GIORNO	LIVELLO	PORTATA DEFAULT
12:00 - 12:29	1500	40.40	1500
12:29 - 12:59	1500	40.40	1500
13:00 - 13:29	1500	40.40	1500
13:29 - 13:59	1500	40.40	1500
14:00 - 14:29	1500	40.50	1500
14:29 - 14:59	1500	40.50	1500
15:00 - 15:29	1500	40.55	1500
15:29 - 15:59	1500	40.55	1500
16:00 - 16:29	1500	40.60	1500
16:29 - 16:59	1500	40.60	1500
17:00 - 17:29	1500	40.75	1500
17:29 - 17:59	1500	40.75	1500
18:00 - 18:29	1500	41.00	1500
18:29 - 18:59	1500	41.00	1500
19:00 - 19:29	1400	41.00	1400
19:29 - 19:59	1400	41.00	1400
20:00 - 20:29	1150	40.50	1150
20:29 - 20:59	1150	40.50	1150
21:00 - 21:29	1150	40.10	1150
21:29 - 21:59	1150	40.10	1150
22:00 - 22:29	1400	39.74	1400
22:29 - 22:59	1400	39.74	1400
23:00 - 23:29	1100	39.45	1100
23:29 - 23:59	1100	39.45	1100

Limiti attuali

- Compilazione manuale del calendario
- Numero limitato di curve obiettivo
- «Curve obiettivo» statiche
- Utilizzo di curve statiche che non tengono conto di alcune variabili che influenzano i consumi
  - Dati meteo
  - Calendario delle festività
  - Calendario scolastico

Come può aiutarci il ML?

Il Machine Learning è stato sviluppato in due casistiche:

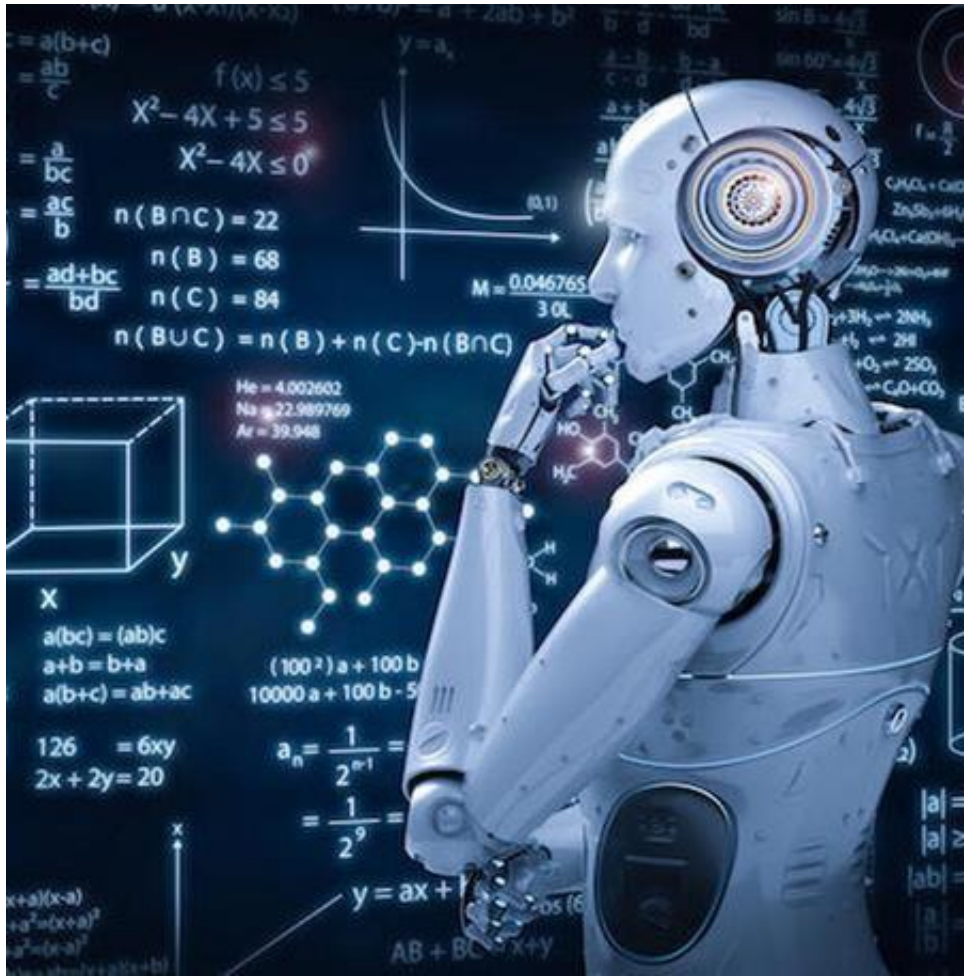
1. **Selezione automatica della curva obiettivo tramite la previsione del totale erogato giornaliero)**

2. **Previsione in tempo reale della richiesta di acqua**

da un SISTEMA PASSIVO ad un SISTEMA PRO-ATTIVO

Entrambi gli approcci sono risultati utili a:

- ottimizzare le manovre negli impianti
- ottimizzare utilizzo degli stoccaggi
- ridurre le sollecitazioni sugli organi meccanici
- ridurre le rotture di rete
- eliminare gli sfiori dei serbatoi pensili
- contribuire alla riduzione dei consumi energetici.



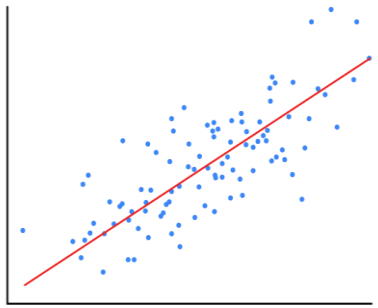
CASO 1: Selezione automatica della curva - addestramento

Per selezionare in automatico la migliore curva giornaliera è stato indispensabile prevedere il più accuratamente il volume totale di acqua richiesto durante la giornata.

MODELLO DI MACHINE LEARNING

- Variabili utilizzate per l'addestramento:
  - Giorno
  - Mese
  - Calendario festività
  - Calendario scolastico
  - Temperatura
  - Pioggia
  - Totale erogato
- Granularità giornaliera

- Modelli testati:
  - Persistence Model (riferimento)
  - **Regressione Lineare**
  - Random Forest
  - Rete neurale MLP
- Addestramento: 2014 – 2019
- Test: 2020 - 2021
- Loss function: errore medio assoluto (MAE)
- **Tools open source:** Python + Scikit-learn



Es. regressione lineare

CASO 1: Selezione automatica della curva – confronto tra modelli

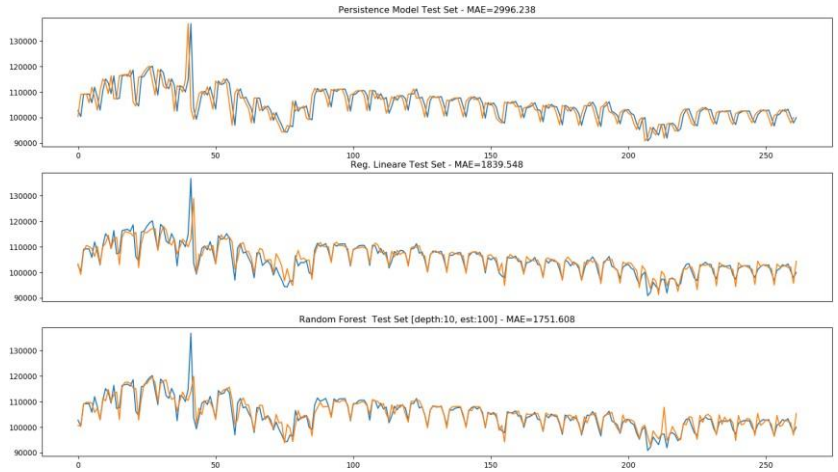
Tra i modelli testati il Random Forest si è rivelato essere leggermente più accurato del Regressore Lineare, ma dovendo «quantizzare» il risultato in un numero finito di set disponibili, tale vantaggio viene sostanzialmente perduto.

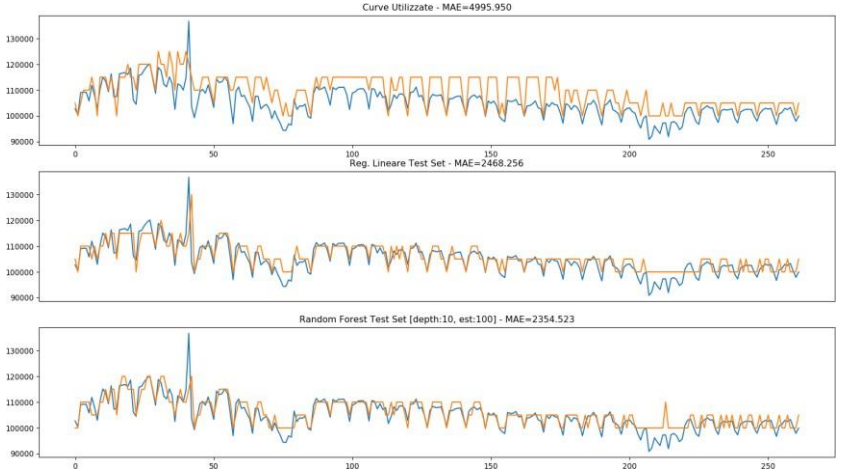
- **A parità di risultati la soluzione meno complessa è la preferibile**

MODELLO	DATA SET	MAE [m3]
Pers. Model	Test Set	2996
Reg. Lineare	Test Set	1839
Random Forest	Test Set	1751

Test Set:
giugno 2019 – febbraio 2020

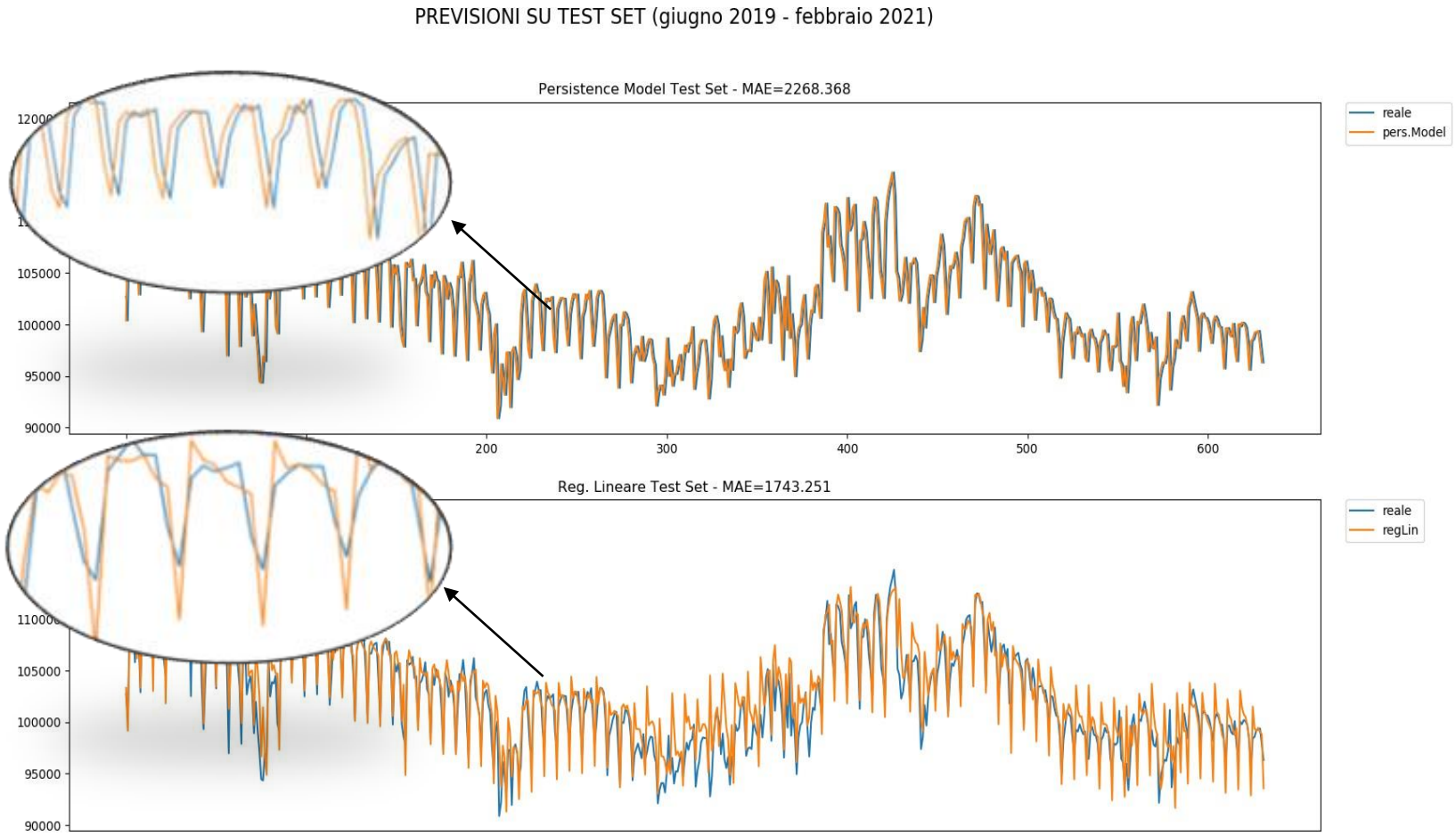
MODELLO	DATA SET	MAE [m3]
Pers. Model	Test Set	4995
Reg. Lineare	Test Set	2468
Random Forest	Test Set	2354





CASO 1: Selezione automatica della curva – risultati

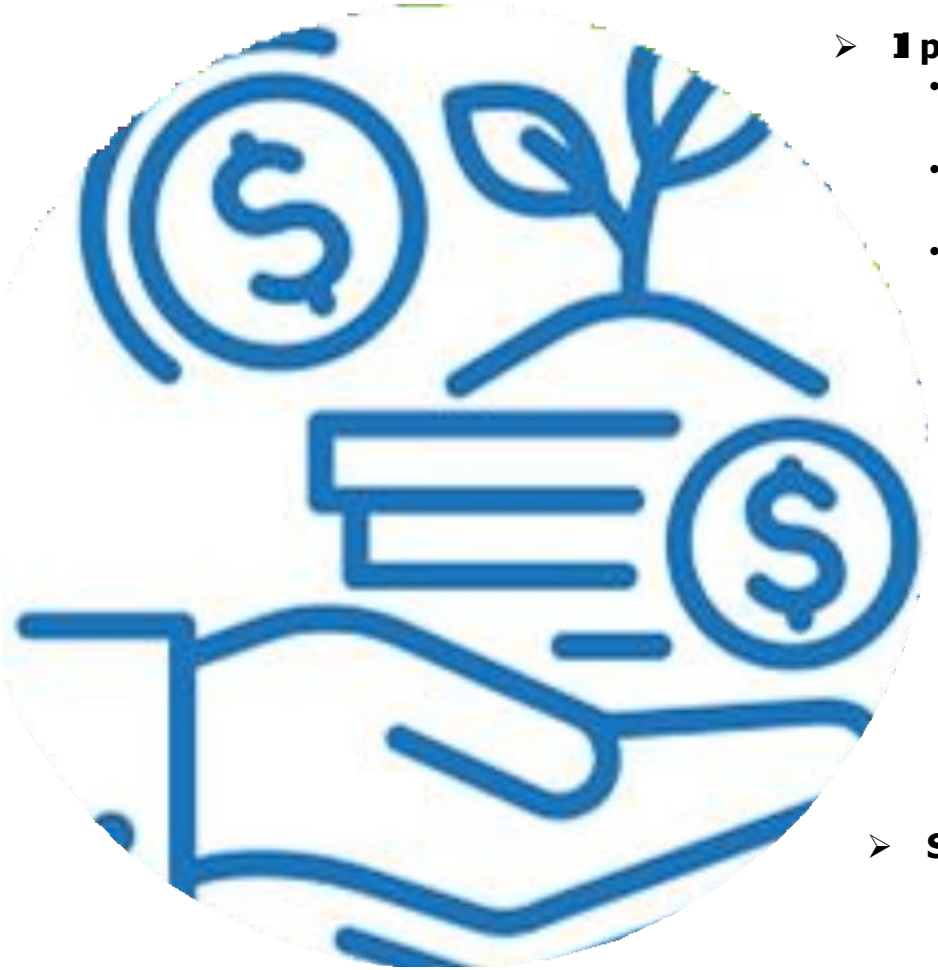
Per la complessità del modello si è rivelata sufficiente la tecnica della **Regressione Lineare**.



- **Train Set**: dicembre 2014 – maggio 2019
- **Test Set**: giugno 2019 – febbraio 2021

MODELLO	DATA SET	MAE [m3]
Pers. Model	Train Set	3114
Reg. Lineare	Train Set	1828
Pers. Model	Test Set	2268
Reg. Lineare	**Test Set**	**1743**

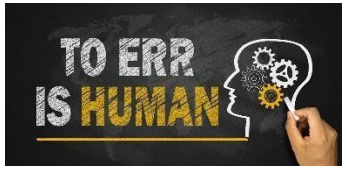
CASO 1: Selezione automatica della curva – quali vantaggi?



- **Il processo diventa automatico e giornaliero**
  - Mancata necessità di compilare settimanalmente i calendari; aggiornati oggi al bisogno da un operatore
  - Il sistema effettua la previsione tutti i giorni, sfruttando i dati più aggiornati possibile
  - Saving di 200 h/anno operatore

- **Il modello ML sfrutta tutte le variabili disponibili (anche quelle che un operatore non può tenere in considerazione)**
  - Dati meteo
  - Dati storici aggiornati a fine giornata (ore 23:45)

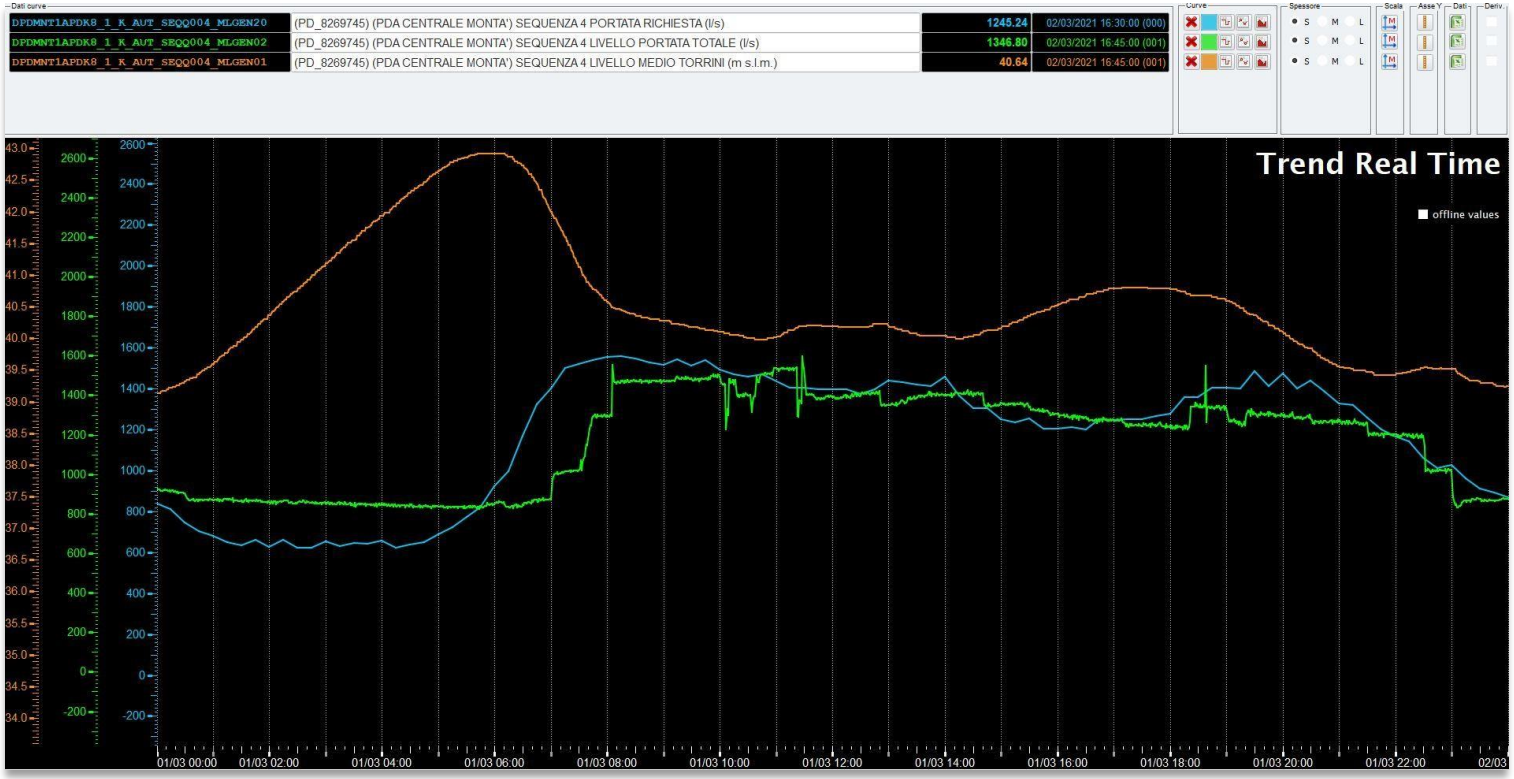
- **Riduzione dell'errore umano**
  - Data entry manuale non più necessario
  - Consultazione report storici non più necessaria



- **Set obiettivo più accurato**
  - L'impostazione della curva obiettivo più corretta porta l'automazione ad effettuare meno manovre sulle pompe, e quindi un minore stress sulla rete e sulle macchine.

CASO 2: Previsione della richiesta d'acqua

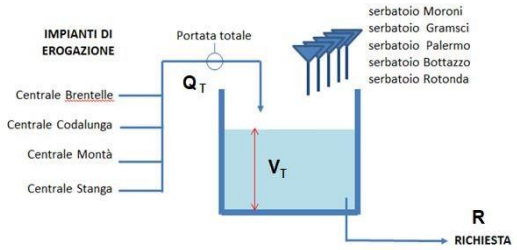
Il dato di Richiesta Istantanea, prima dell'implementazione del ML, era calcolato extra sistema, con anche elaborazioni manuali, quindi non facilmente integrabile nel Telecontrollo rendendo più frammentato il processo di analisi del sistema. Ora il dato è già calcolato e disponibile a PVSS.



CASO 2: Previsione della richiesta d'acqua – addestramento

Per anticipare e minimizzare le manovre sugli impianti, è stato indispensabile prevedere il più accuratamente possibile la richiesta istantanea di acqua durante la giornata.

MODELLO DI MACHINE LEARNING



$$R_{T\,i} = \frac{V_{T\,i} - V_{T\,i+1} + Q_T * T}{T}$$

- Variabili utilizzate per l'addestramento:
  - Giorno
  - Mese
  - Minuto del giorno
  - Calendario festività
  - Calendario scolastico
  - Temperatura
  - Pioggia
  - Totale erogato giorno precedente
- Granularità 15 minuti

- Modelli testati:
  - Persistence Model (riferimento)
  - Regressione Lineare
  - Random Forest
  - Rete neurale MLP
  - Rete LSTM
  - **Rete CNN + Rete LSTM**
    - CNN: Convolutional Neural Network
    - LSTM: Long-Short Term Memory

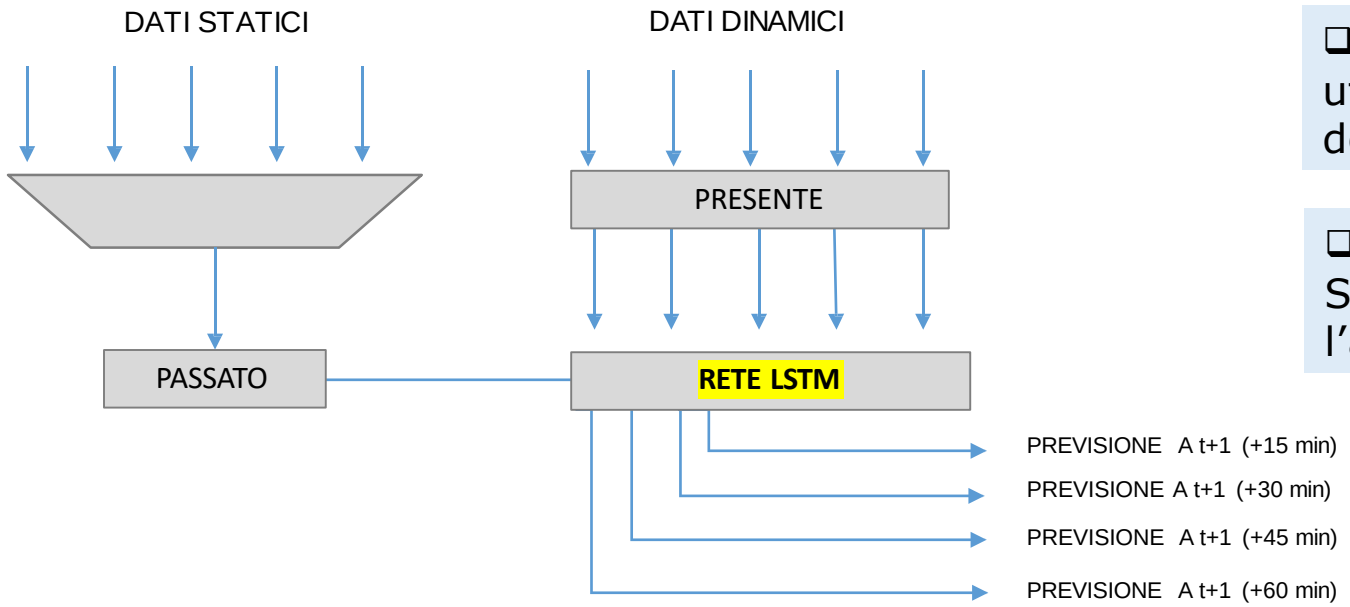
- Addestramento: 2018 – 2019
- Test: 2020 - 2021
- Loss function: errore medio assoluto (MAE)
- **Tools open source**: Python + Tensorflow

CASO 2: Previsione della richiesta d'acqua – modello CNN +LSTM

Per ottenere una previsione più precisa possiamo fare in modo che la rete «capisca» l'andamento della curva guardando al passato per prevedere il futuro:

Abbiamo suddiviso i dati in ingresso in due categorie:

- **STATICI:** non variano da un intervallo all'altro di 15 minuti (Mese, giorno, festivo/feriale, giorno scolastico/vacanza, erogato giorno precedente);
- **DINAMICI**: possono variare ad ogni intervallo (Pioggia, temperatura, minuto del giorno)

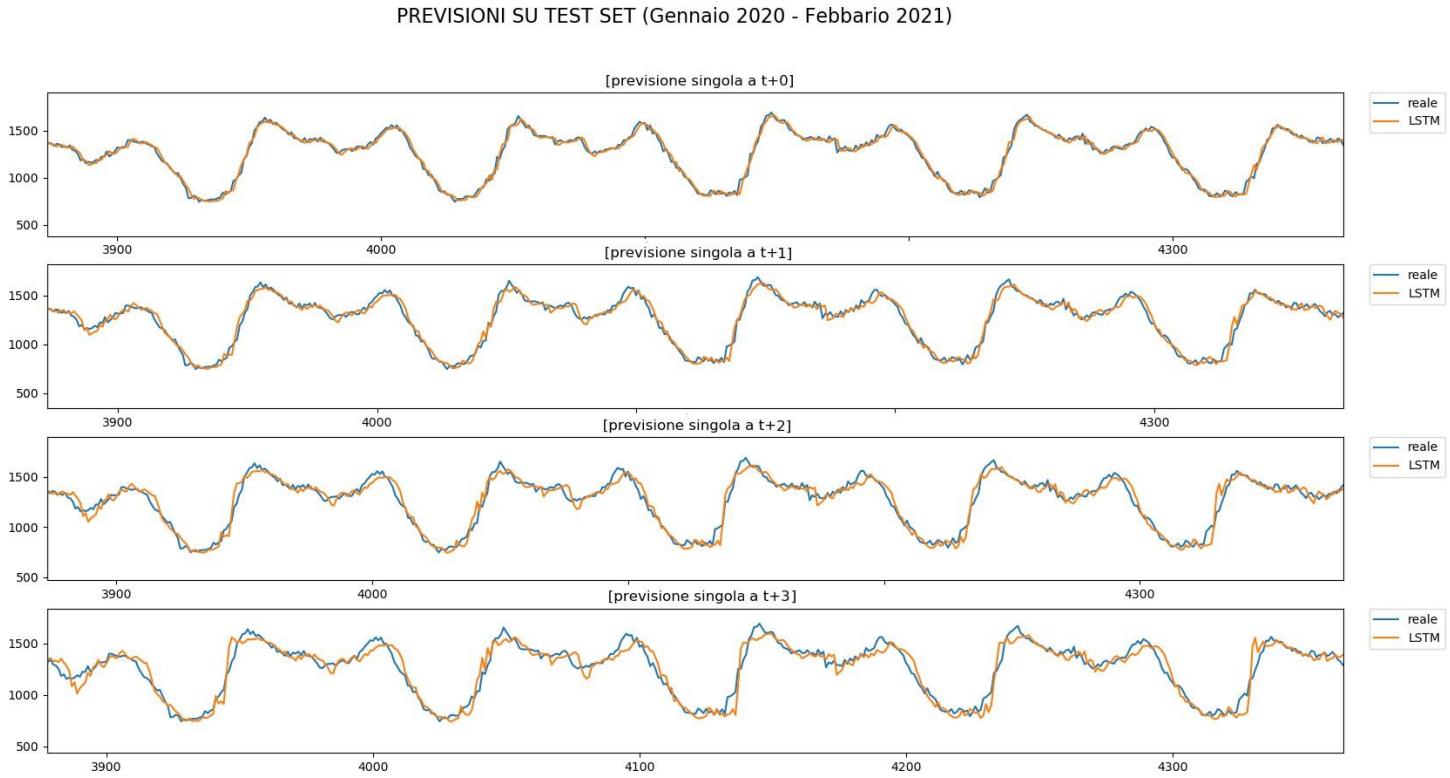


❑ **Convolutional Neural Network:**
utilizza i dati statici per creare una rappresentazione del «passato»

❑ **Long-Short Term Memory**
Sfrutta l'effetto memoria per prevedere l'andamento di una variabile nel futuro

CASO 2: Previsione della richiesta d'acqua – risultati

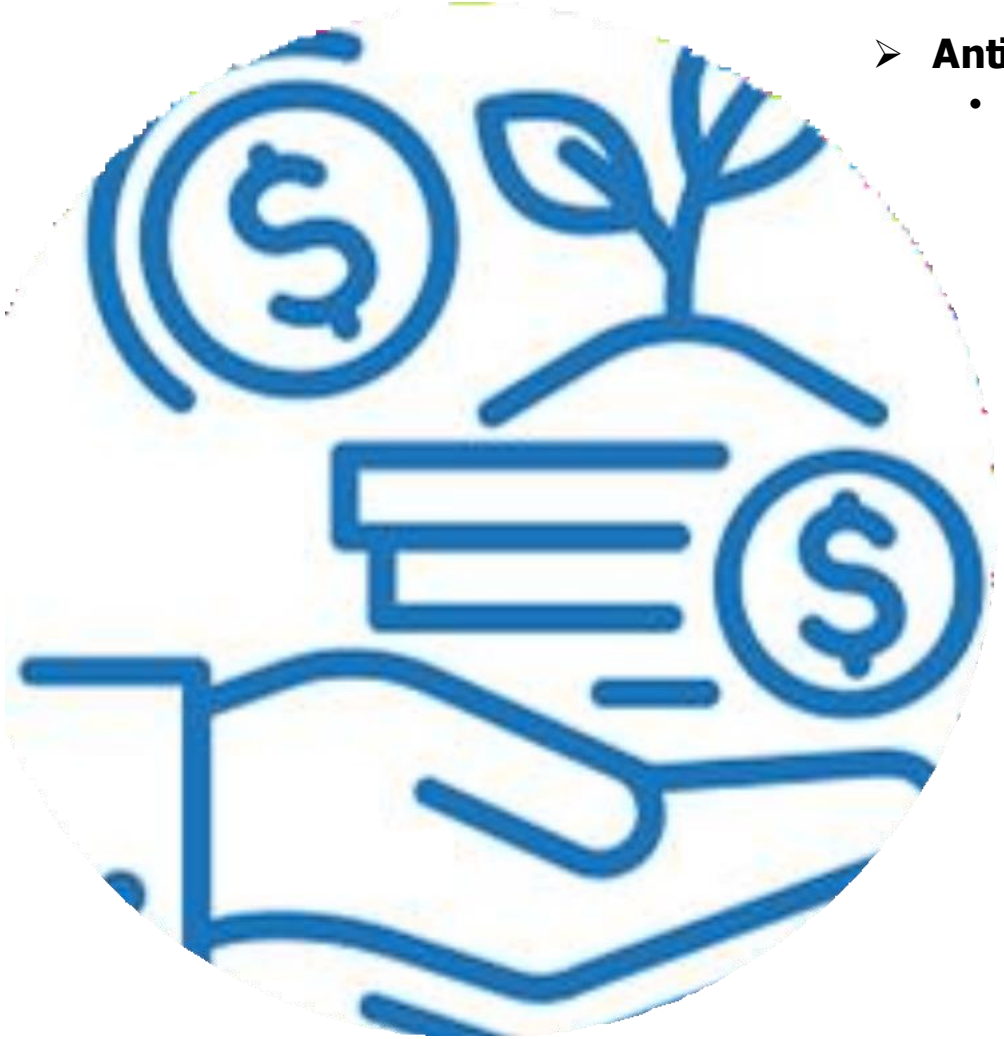
Con un unico modello riusciamo ad ottenere, ogni 15 minuti, previsioni soddisfacenti fino ad un'ora nel futuro



- **Train Set**: gennaio 2018 – dicembre 2019
- **Test Set**: gennaio 2020 – febbraio 2021

MODELLO	DATA SET	MAE [l/s]
Pers. Model (+15 min)	Test Set	35.136
CNN+LSTM (+15 min)	Test Set	**29.224**
CNN+LSTM (+30 min)	Test Set	37.254
CNN+LSTM (+45 min)	Test Set	47.137
CNN+LSTM (+60 min)	Test Set	57.819

CASO 2: Previsione della richiesta d'acqua – quali vantaggi?



- **Anticipare e non inseguire**
  - Con la richiesta istantanea le manovre sono più graduali: limitate a variazioni di 10-20 l/s che, effettuate in anticipo, consentono di diminuire il numero di manovre.

- **Riduzione stress della rete**
  - meno manovre ON/OFF pompe (5%)
  - riduzione colpi d'ariete,
  - riduzioni rotture in rete (1%)

- **Riduzione dell'intervento manuale e delle correzioni dell'operatore**

Grazie per l'attenzione