

Analisi di una rete fognaria strumentata

1. Introduzione

Il comprensorio Valli Piovese oggetto dello studio è situato in provincia di Padova e si estende per circa 130 Km² in quella parte della pianura veneta compresa tra i Colli Euganei e la città di Venezia. La rete idraulica esaminata sversa quindi i suoi reflui in prossimità del bacino scolante della Laguna di Venezia ed è perciò soggetta a delle norme molto restrittive imposte dalla Regione Veneto in materia di qualità delle acque.

I comuni, consorziati per la gestione dei servizi di acquedotto e fognatura, si sono da qualche anno dotati di un sistema di convogliamento dei liquami verso un impianto di depurazione centralizzato situato nel comune di Codevigo: tale manufatto ha il compito di sversare i reflui trattati nel fiume Brenta mediante un sollevamento ter-

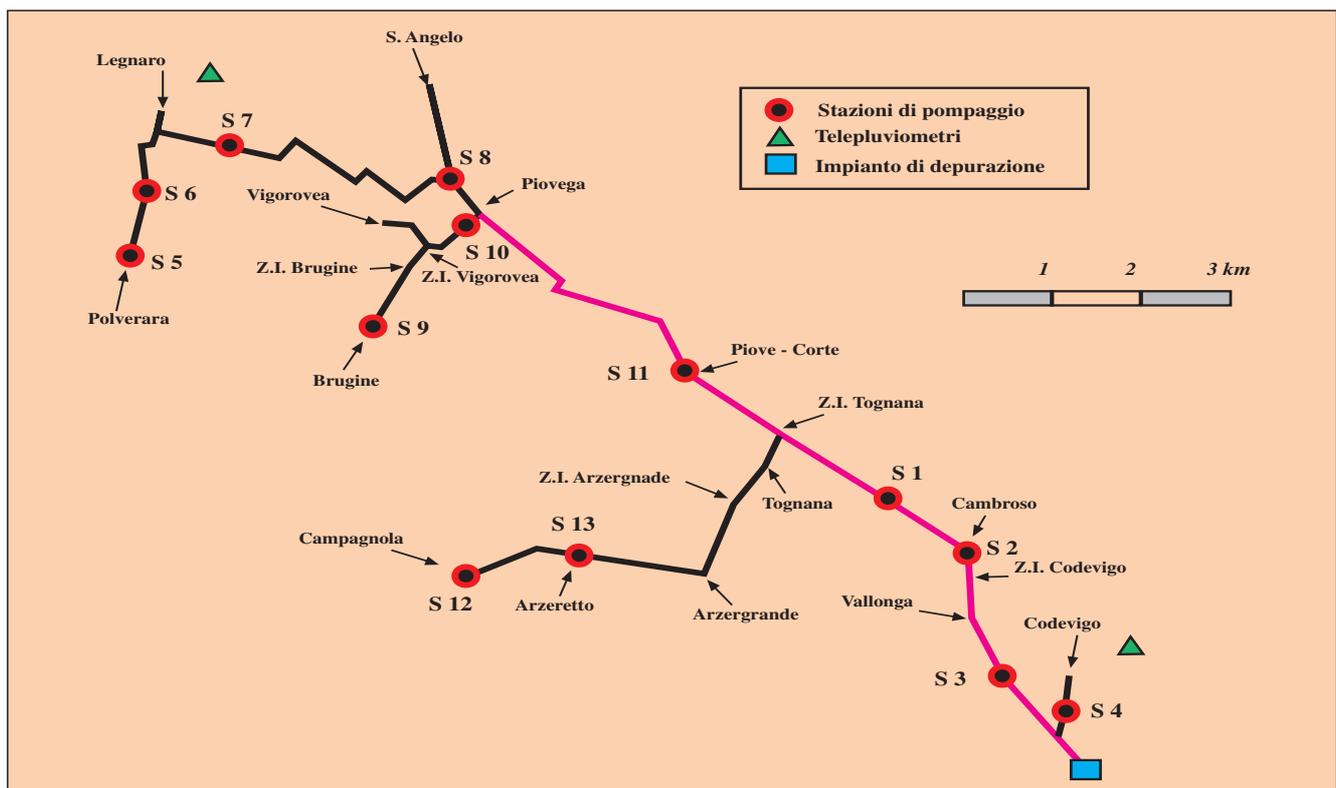
La costruzione del sistema di collettamento consortile ha consentito di abbandonare progressivamente i piccoli depuratori precedentemente a servizio del comune di Piove di Sacco (con potenzialità di circa 10000 abitanti equivalenti) e dell'area industriale di Tognana (con potenzialità di circa 7000 abitanti equivalenti). Fino alla metà degli anni ottanta i liquami provenienti dagli altri centri venivano scaricati senza alcun trattamento nella rete idrografica superficiale.

Le reti fognarie sono di tipo separato, ad eccezione di quella di Codevigo e di altri piccoli agglomerati che sono di tipo unitario. Gli unici dispositivi di sfioro presenti in rete sono posizionati in corrispondenza delle poche reti unitarie, e sono stati dimensionati per allontanare le portate eccedenti il coefficiente di diluizione di progetto. In realtà il sistema di raccolta non riesce a garantire la perfetta separazione delle portate nere da quel-

le meteoriche: in occasione degli eventi piovosi si assiste quindi ad un forte incremento delle portate convogliate verso il depuratore tale da creare notevoli problemi alla gestione dello stesso. Non è raro il caso in cui il collettore, progettato per funzionare interamente a pelo libero, vada in alcuni tratti in pressione in seguito a precipitazioni particolarmente intense.

Il numero delle persone attualmente servite dalla rete consortile non è noto, ma ad esso si può risalire approssimativamente grazie alla relazione che lega i dati dei volumi giornalieri trattati dal depuratore alle corrispondenti concentrazioni di BOD₅ (cioè il *biological oxygen demand* relativo a cinque giorni) misurate in ingresso all'impianto. In base a tale analisi si ricava un valore di circa 36000 abitanti equivalenti.

Uno schema dell'intera rete è rappresentato nella figura 1.



minale. • Figura 1 - Planimetria della rete fognaria consortile.

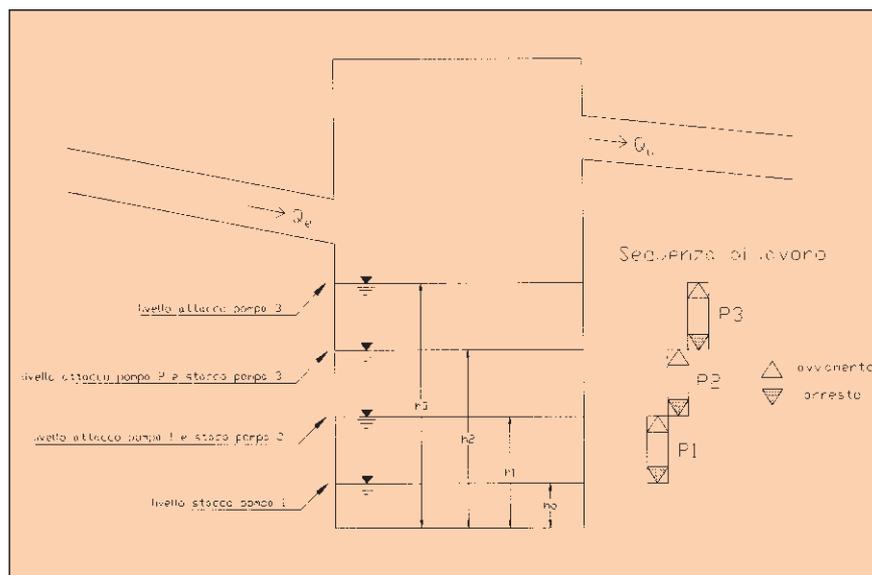
Il collettore consortile è costituito da una dorsale principale lunga quasi 19 km e da alcuni rami secondari. Le condotte hanno un diametro che varia dai 30 ai 100 cm e sono in gres (quelle fino a 35 cm) o in fibrocemento.

Il collettore consortile presenta inoltre delle stazioni di sollevamento o di rilancio: otto sono disposte lungo la dorsale principale e cinque lungo i rami secondari. La dislocazione di tali impianti è anch'essa indicata nella figura 1. Le pompe hanno un funzionamento di tipo on-off e sono comandate da algoritmi di controllo locale che prevedono un'attivazione sequenziale al crescere del livello nella vasca di carico e la fermata in sequenza inversa al suo diminuire: il livello di stacco di una pompa quindi corrisponde a quello di attacco della successiva. Le soglie di attacco e stacco sono impostate come set-points degli algoritmi di controllo e possono essere modificate in ogni momento agendo dalla centrale operativa di telecontrollo. Uno schema di funzionamento è rappresentato in figura 2. Nel comprensorio sono attualmente presenti due telepluviometri-registratori (a Legnaro e a Codevigo) disposti alle estremità opposte della direttrice principale di sviluppo dell'area consortile. I due strumenti forniscono l'altezza di precipitazione ogni cinque minuti. Il comprensorio esaminato è posto inoltre in prossimità del Centro Sperimentale per l'idrologia e la Meteorologia di Teolo: tale struttura oltre a gestire e rilevare i dati dei due telepluviometri fornisce un servizio di allarme radar meteorologico che consente di prevedere l'arrivo di una perturbazione con un anticipo di almeno 24 ore.



2. Il sistema SCADA

La rete è stata recentemente dotata di un sistema di telecomando e telecontrollo (definito in termini tecnici SCADA, cioè "System Control And Data Acquisition"). Tale sistema permette



• Figura 2 - Schema di funzionamento di una pompa.

di avere una visione globale centralizzata del funzionamento dell'intera rete mediante una idonea strumentazione di rilievo, trasmissione e ricezione dati. La possibilità di avere un quadro generale istante per istante della situazione degli strumenti consente di intervenire in tempo reale per far fronte a qualsiasi evento. Nel caso ad esempio di rottura di tubazioni, avarie al motore delle pompe o altri tipi di anomalie le segnalazioni tempestive che pervengono al centro di controllo dalle stazioni periferiche possono essere seguite da altrettanti rapidi interventi atti a ridurre al minimo i possibili danni. Gli elementi fondamentali che costituiscono il sistema di telecontrollo nel comprensorio in esame sono:

- sistema centrale (installato presso la palazzina uffici dell'impianto di depurazione di Codevigo) costituito da una workstation Digital VAXstation 300 che gestisce numerose funzioni di archivio, diagnostica, gestione allarmi, visualizzazione dello stato delle periferiche, automatizzazione centralizzata. Fra le numerose funzionalità si segnalano in particolare:
 - la visualizzazione delle condizioni operative di ciascuna periferica mediante finestre grafiche;

- la possibilità di comandare ciascuna singola pompa ovvero di modificare i set-points (livello di attacco e stacco) dei regolatori delle stazioni periferiche;
- l'archiviazione di tutti i dati raccolti a campo minuto per minuto e il calcolo dei valori orari e giornalieri medi, minimi e massimi per tutte le grandezze misurate;
- la segnalazione di allarmi e anomalie;
- la possibilità di automatizzare tutte le operazioni effettuabili dall'operatore mediante programmi operativi sviluppati con linguaggi ad alto livello.

Il collegamento tra la centrale operativa e le periferiche è realizzato mediante linea telefonica dedicata multipunto in parte su supporto noleggiato dalla società Telecom e in parte su cavo privato di proprietà del Consorzio: ciò consente di interrogare ogni periferica una volta al minuto.

- stazioni periferiche di sollevamento dotate di misuratori di livello, misuratori di portata e sistemi di monitoraggio della qualità dei liquami. In ogni stazione periferica è presente una centralina di telecontrollo costituita da:

- alimentatore dotato di un gruppo di batterie che garantiscono un'autonomia di funzionamento di almeno cinque ore;
- C.P.U. per l'elaborazione locale dei dati;
- modem per il collegamento con l'elaboratore centrale dotato di protezione contro le sovratensioni, le sovracorrenti, le scariche atmosferiche e altri disturbi generici.

Tutti i dati a disposizione vengono raccolti dall'elaboratore centrale e rielaborati in elenchi sequenziali in cui sono indicati i livelli raggiunti dal liquame nelle stazioni di sollevamento, gli istanti di attacco e stacco delle pompe, il valore della portata transiente in tre diverse posizioni della rete, il valore del pH e le eventuali anomalie degli strumenti di registrazione. Ulteriori rilievi del funzionamento dell'impianto vengono effettuati presso il depuratore consortile di Codevigo presso il quale sono presenti i seguenti strumenti:

- campionatore automatico (consente di prelevare e conservare 24 campioni di 1000 ml ad intervalli di tempo programmabili);
- analizzatore TOC - "Total Organic Carbon" - (in seguito a una serie di reazioni chimiche si ricava la percentuale di anidride carbonica presente nel campione, proporzionale al contenuto di carbonio organico);
- misuratore di livello;
- misuratore di temperatura;
- misuratore di concentrazione dei fanghi;
- misuratore di portata ad ultrasuoni;
- misuratore di conducibilità;
- misuratore di torbidità;
- misuratore di livello dei fanghi.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche di alcuni degli strumenti sopra indicati:

- la misura dei livelli viene effettuata tramite uno strumento ad ultrasuoni: il sensore emette impulsi di onde ultrasonore aventi una frequenza di 46 KHz. Tali onde vengono riflesse dalla superficie del liquido e

ricevute dallo stesso sensore. Il tempo necessario alle onde per percorrere la distanza tra sensore e superficie riflettente viene elaborato elettronicamente dalla centralina in un segnale di uscita proporzionale al livello rilevato.

I campi di misura variano da:

0 Π 0,14 m (minimo)

0 Π 5,00 m (massimo)

Questa fascia di valori racchiude tutte le possibili situazioni che si possono presentare nelle tredici stazioni di sollevamento strumentate.

Lo strumento funziona tra i -20 e i 60 °C; in ogni caso il sensore è dotato di una sonda per la compensazione della temperatura in modo tale da non influenzare la misura della velocità di propagazione dell'onda ultrasonica. La rilevazione è inoltre indipendente dalla densità del liquido e dalle eventuali ondulazioni della superficie e assolutamente insensibile ad ogni agente atmosferico.

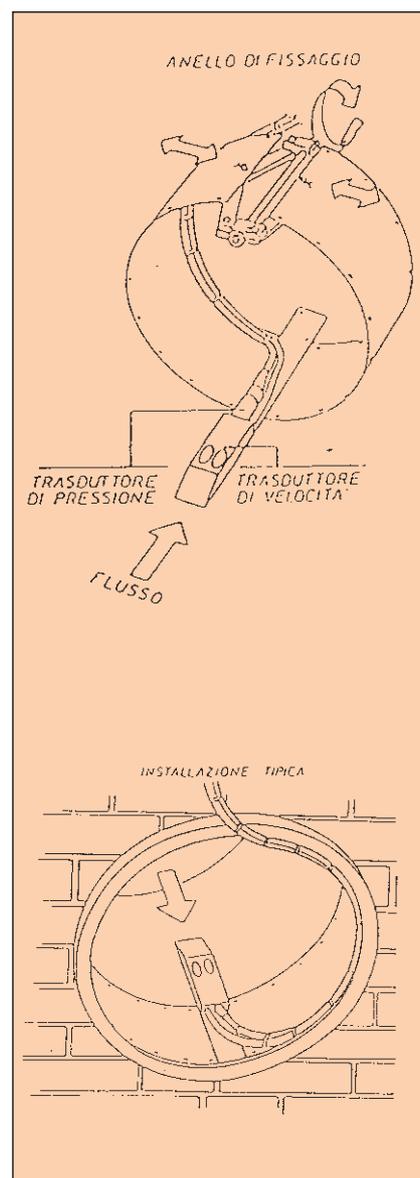
L'impostazione attuale del sistema di acquisizione dei dati consente di registrare i valori di livello con scansione pari al minuto: in un giorno quindi dovrebbero venire acquisite per ogni strumento 1440 informazioni.

- il misuratore di portate è in grado di rilevare:

- la velocità media presente nel punto di misura tramite una sonda Doppler ad ultrasuoni. Tale strumento, di forma cuneiforme, è montato su un anello in acciaio inox inserito nella tubazione ed espanso fino ad aderire perfettamente alla parete della tubazione;
- la misura del livello dell'acqua tramite un trasduttore di pressione montato di norma integralmente al trasduttore di velocità.

Nella figura 3 è rappresentato un particolare dello strumento.

I parametri misurati vengono integrati con le caratteristiche della condotta in esame, fornendo un segnale 4-20 mA



● Figura 3 - Particolare dello strumento misuratore di portata

proporzionale alla portata istantanea misurata. La rilevazione, essendo una grandezza derivata, è affetta da una probabilità di errore ben superiore a quella di livello: in funzione delle caratteristiche del liquame lo scarto fra valore stimato e valore reale può raggiungere il 20%.

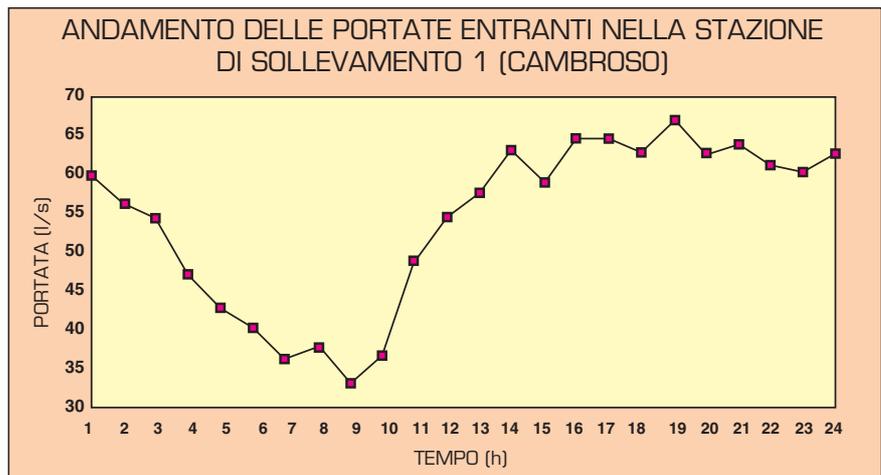
- il sistema di analisi della qualità dei liquidi consente di rilevare, tramite una serie di sensori e dispositivi,

dati relativi al pH, alla conduttività e al potenziale redox. L'accuratezza delle misure è garantita da apparecchiature che permettono il lavaggio, il risciacquo della strumentazione di analisi ad intervalli prefissati e la taratura con soluzioni a titolo noto. Anche in questo caso la sonda è dotata di un sensore di compensazione della temperatura in modo tale da non influenzare le misure.



3. Analisi della rete nelle diverse condizioni di funzionamento

Dal momento che non sono disponibili con sufficiente continuità i valori relativi ai misuratori di portata (dato che il sistema è ancora in fase di messa a punto), gli unici dati utilizzabili per una precisa simulazione sono i livelli del liquido nelle tredici stazioni di pompaggio. Per poter conoscere i valori delle portate presenti nei diversi punti di immissione della rete è quindi necessario trasformare i dati di livello in dati di portata. Il calcolo della portata entrante in ogni impianto di pompaggio viene effettuato tramite un programma di calcolo che tiene in considerazione i livelli del fluido misurati ogni minuto rispetto al fondo del pozzetto, la sezione orizzontale della vasca di sollevamento e i coefficienti delle curve caratteristiche delle pompe. L'algoritmo analizza i valori del livello relativi a due minuti successivi e prevede due possibili alternative a seconda che il fluido all'interno della vasca aumenti o diminuisca. Inserendo i valori delle portate medie orarie entranti nelle stazioni di sollevamento in un grafico si può notare come l'andamento delle portate nella fognatura segue la variazione dei fabbisogni idrici della popolazione nell'arco dell'intera giornata: nel grafico relativo alla pompa 1 (Cambroso) (vedi figura 4) si evidenzia un calo dei valori nelle prime ore della giornata fino alle ore 9 e poi un incremento nelle



• Figura 4 - Portata entrante nella stazione di pompaggio 1 (Cambroso).

rimanenti ore con due picchi in corrispondenza delle ore 14 e delle ore 19. Da questi dati si può risalire, sfruttando la proporzionalità tra le aree e le portate circolanti in rete e considerando i diversi tempi di propagazione del fluido all'interno della rete, alle portate provenienti da tutti i bacini scolanti. La validità dei risultati ricavati è confermata dal fatto che la portata media giornaliera calcolata affluita al depuratore è molto prossima a quella misurata dal centro di controllo di Codevigo. Le misure di portata per ogni immissione così ricavate sono state introdotte nel programma MOUSE (acronimo di Modelling Of Urban SEwers) sviluppato dal Danish Hydraulic Institute e utilizzato nell'ambito del programma di ricerca finanziato dalla CEE (denominato SPRINT) sul controllo in tempo reale delle reti fognarie. Il modello idrodinamico permette tra l'altro di ricavare istante per istante:

- le portate pompate dai vari impianti di sollevamento e il numero di attacchi-stacchi.
- le portate transitanti nei vari rami dell'impianto consortile.

- i valori delle velocità in ogni ramo della rete.
- il livello del liquido all'interno di ogni ramo.

Le elaborazioni rivestono un'importanza rilevante dal momento che per esempio dalle velocità in ogni condotta si possono ricavare i tempi di propagazione del fluido nei vari tratti dell'impianto consortile. Nella tabella 1 sono indicati i tempi minimi (ottenuti considerando che il fluido transiti nel tratto con velocità massima) e i tempi medi (ottenuti con la velocità media). Il liquido in condizioni di tempo asciutto impiega in media 1213 ore per percorrere il tratto lungo 19 Km che separa l'immissione più lontana del comune di Polverara dall'impianto di depurazione di Codevigo. Nel caso di condizioni di tempo piovoso (precipitazione media sull'intero comprensorio di 2030 mm in un giorno) l'inerzia della rete si mantiene comunque elevata ma si riduce a 10 ore. Dai dati indicanti i livelli del liquido in ogni ramo si può risalire invece al volume di fluido presente all'interno della condotta.

Giorno 1995	Pioggia caduta (mm)	Tempo medio (min)	Tempo minimo (min)
5 marzo	0	737	561
9 marzo	17,926	625	502
23 giugno	28,893	618	482

• Tabella 1 - Relazione tra altezza di pioggia e tempi di propagazione del fluido

Nella tabella 2 sono indicati i volumi occupati dal liquame nell'ultimo tratto della condotta principale lungo 11 km (avente diametro superiore a 70 cm e volume totale di 7382 m³ indicato in viola nella figura 1).

Giorno 1995	Pioggia caduta (mm)	Volume liquame (m ³)	Riempimento rete (%)
5 marzo	0	1843	24,97
9 marzo	17,926	2344	31,75
23 giugno	28,893	3135	42,47

• *Tabella 2 - Relazione tra la pioggia caduta e i volumi di liquame*

Dr. Ing. Marco Battisti

Dr. Ing. Andrea Peduzzi