

## RICOSTRUZIONE TOPOLOGICA E VALIDAZIONE AUTOMATICA DELLA CONGRUENZA IDRAULICA DI SCHEMI ACQUEDOTTISTICI DI ADDUZIONE INFORMATIZZATI

*E. Gallo<sup>1</sup>, C. Soffia<sup>1</sup> & P. Claps<sup>1</sup>*

(1) Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, e-mail: enrico.gallo@gmail.com, claudia.soffia@polito.it, pierluigi.claps@polito.it

### SOMMARIO

*In questo lavoro si descrive il processo di integrazione, ricostruzione topologica e validazione della banca dati GIS delle infrastrutture acquedottistiche della Regione Piemonte, operazione propedeutica all'avvio di approfondimenti sul funzionamento delle reti di adduzione per finalità di produzione idroelettrica.*

*L'approccio sviluppato è basato su procedure automatiche che integrano free open source e public domain software: i moduli GRASS GIS, il database spaziale PostgreSQL/PostGIS e il software per la verifica degli acquedotti EPANET, diffusi sia in ambito accademico sia nel mondo professionale.*

*L'attività ha consentito una rappresentazione della rete completamente riqualificata ed integrata con informazioni altimetriche, da cui è possibile derivare rapidamente il modello EPANET di ogni singolo impianto combinando SQL e moduli GRASS.*

*Nel caso gli input non siano sufficienti per concludere positivamente la simulazione, la disponibilità di rapporti diagnostici sulle anomalie di funzionamento della rete consente una successiva attività mirata di bonifica delle anomalie e integrazione dei dati, più approfondita e completa di quanto perseguibile con generici processi di data-cleaning.*

*Pur con alcune ipotesi semplificative necessarie a causa dell'assenza di dati, è stato inoltre possibile avviare l'analisi di alcuni schemi ricostruiti al fine di stimare il potenziale di producibilità idroelettrica di singoli impianti; un'applicazione del metodo è stata effettuata per alcuni casi studio per i quali fossero disponibili risultati ottenuti attraverso precedenti metodi semplificati, poi validati mediante analisi di dettaglio.*

### 1 INTRODUZIONE

È ormai opinione diffusa che la realizzazione di modelli di simulazione idraulica si configuri come un valido supporto nell'ambito della gestione dei sistemi idrici, considerati i notevoli vantaggi nella pianificazione di attività di ottimizzazione mirate anche al rispetto dei criteri delineati dalla normativa (Borzi *et al.*, 2010). In particolare, un'accorta politica di gestione delle risorse idriche deve tendere al conseguimento di un efficiente monitoraggio e controllo dei consumi e all'efficienza energetica del sistema acquedottistico (watergy efficiency). In questo contesto, la possibilità di produrre energia attraverso l'installazione di impianti mini-idroelettrici, risulta essere interessante complemento ad attività di manutenzione straordinaria delle infrastrutture di adduzione.

Valutazioni di massima delle potenzialità delle fonti energetiche acquedottistiche piemontesi, in particolare per gli acquedotti montani, sono state effettuate a scala provinciale e regionale da alcuni enti e da un gruppo di lavoro del Politecnico di Torino (Provincia di Torino, 2005; UNCEM, 2008; Claps *et al.*, 2010). Gli studi si sono basati su informazioni derivate dal database e dai dati GIS del Sistema informativo regionale delle risorse idriche (SIRI) e dalla conoscenza dell'altimetria del territorio. Gli approcci adottati, basati in particolare su una definizione semplificati dei potenziali (intrinseco ed effettivo) di un acquedotto montano (Plebani *et al.*, 2007, Miotto *et al.*, 2008, Soffia *et al.* 2010 (a), Soffia *et al.*, 2010 (b)), risultano ancora fortemente influenzati dalla configurazione reale della rete. Al tempo stesso, la possibilità di simulare gli effetti di modifiche alla rete esistente per migliorarne le potenzialità, si conferma di rilevante interesse.

È stato quindi avviato un approfondimento circa la possibilità di analizzare gli schemi acquedottistici nella loro configurazione reale, al fine di migliorare la stima di producibilità di ciascun impianto (Soffia, 2011). Per la presenza di reti anche magliate si sono escluse analisi *database-oriented* basate sulla

chiusura transitiva (Claps et al., 2000), preferendo invece l'applicazione del software EPANET per la simulazione del funzionamento idraulico della rete.

La disponibilità di dati GIS integrati con un modello idraulico come EPANET amplia notevolmente le potenzialità di analisi (carico ai nodi, valutazioni gestionali, simulazioni *what/if*, analisi di affidabilità, ottimizzazione del pompaggio) ma richiede una rete topologicamente corretta e un numero significativo di informazioni secondo convenzioni, codifiche e formati noti (Rossman, 2000), tra cui caratteristiche tecniche e funzionali dell'impianto (quali quote degli elementi, lunghezze e scabrezze delle condotte, entità delle portate, e volume dei serbatoi) e relazioni tra gli oggetti che lo compongono. In particolare, è necessaria una corretta relazione tra archi e nodi, espressa in termini di coppie di identificativi "from node - to node". Considerando schemi già informatizzati, come quelli del sistema informativo regionale piemontese, si è pertanto voluto verificare la disponibilità di tali informazioni e, laddove carenti, procedere ad una loro ricostruzione ed integrazione o alla formulazione di ipotesi semplificative.

## 2 IL DATABASE REGIONALE DEL SISTEMA INFORMATIVO DELLE RISORSE IDRICHE

La fonte di dati privilegiata per lo studio degli impianti regionali è ancor oggi costituita dal censimento dello stato di consistenza delle opere acquedottistiche realizzato dalla Regione Piemonte sulla base della campagna di indagini eseguita negli anni 1997 e 1998 e documentata nel rapporto "Infrastrutture del servizio idrico in Piemonte" (Regione Piemonte, 2000).

Il database allegato al rapporto descrive il sistema nelle sue parti, organizzandolo dal punto di vista concettuale in sorgenti, prese e pozzi, reti di adduzione e distribuzione, serbatoi, stazioni di pompaggio, punti di connessione tra le reti e impianti di trattamento.

Dal punto di vista logico, il database è costituito da dati vettoriali puntuali e lineari, secondo il classico modello archi-nodi; i dati sono georiferiti nel sistema ED50 - UTM32N e ciascuno dei circa 1500 impianti è identificato da un codice caratteristico univoco, riportato come attributo degli oggetti che costituiscono l'impianto stesso. Tra i dati presenti e significativi per lo studio si evidenziano le quote e le portate di sorgenti e prese, le quote dei serbatoi, i diametri e il materiale delle condotte.

Dal punto di vista della memorizzazione fisica sono disponibili:

- shapefiles per le informazioni cartografiche, con codici identificativi e alcuni attributi nel file .dbf associato;
- tabelle aggiuntive Microsoft EXCEL® con ulteriori informazioni generali o attributi supplementari degli elementi georiferiti negli shapefiles.

Il database copre l'intero territorio regionale, così come suddiviso nei 6 Ambiti Territoriali Ottimali (ATO 1 - Verbanco-Cusio-Ossola e Pianura Novarese; ATO 2 - Biellese, Vercellese, Casalese; ATO 3 - Torinese; ATO 4 - Cuneese; ATO 5 - Artigiano Monferrato, ATO 6 - Alessandrino); la precisione delle informazioni è confrontabile con la precisione della Carta Tecnica Regionale prodotta in scala 1:10000.

L'analisi è stata avviata per tutti gli ambiti territoriali, limitatamente agli oggetti geografici delle categorie sorgenti (nodo), prese (nodo), condotte di adduzione (arco), serbatoi di linea (nodo), collegamento delle adduttrici alla rete di distribuzione (nodo), dei quali si riporta la consistenza in Tab.1.

	ATO 1	ATO 2	ATO 3	ATO 4	ATO 5	ATO 6	totale
<i>impianti</i>	176	271	288	312	175	225	1447
sorgenti	419	709	865	878	1	228	3120
prese	32	31	16	4	-	66	149
condotte	2503	3101	3014	4984	1077	2600	17279
serbatoi	519	715	772	827	160	523	3516
nodi distribuzione	491	455	205	859	243	382	2635
<i>totale oggetti</i>	3984	5011	4872	7552	1481	3799	26699

**Tabella 1.** Numero degli impianti e consistenza degli oggetti cartografici per singolo ATO.

I dati geometrici appaiono correttamente georiferiti sulla cartografia tecnica regionale e gli attributi in buona parte valorizzati; i codici di impianto sono presenti, anche se, in alcuni casi, sono inclusi in codifiche più complesse, dalle quali devono essere evidenziati ricorrendo a funzioni di manipolazione delle stringhe. Ad un'analisi di maggior dettaglio, i dati presentano tuttavia l'assenza di qualsiasi relazione geometrico/ topologica tra archi e nodi, in particolare a causa di:

- nodi prossimi ma non coincidenti con l'estremità degli archi;

- nodi assenti pur in presenza di due archi con estremità in comune;
- unico arco pur in presenza di nodo di separazione.

Sono presenti inoltre incongruenze nella numerosità degli oggetti tra i diversi formati fisici e inconsistenze nel valore degli attributi (*Claps et al.*, 2010); nello specifico si rilevano lacune nei dati di portata e di quota delle sorgenti e nei diametri delle condotte di adduzione.

In merito alla codifica, nel caso di nodi di connessione condivisi tra due impianti anagraficamente distinti una delle due selezioni per codice fallisce nell'estrazione di un impianto completo, dal momento che ogni oggetto prevede la memorizzazione di un solo codice impianto.

### 3 PROCESSO DI RICOSTRUZIONE TOPOLOGICA E INTEGRAZIONE ALTIMETRICA CON STRUMENTI GIS

La ricostruzione della topologia è essenziale per l'analisi automatica del funzionamento della rete in configurazione reale (*Shamsi*, 2005) e i software commerciali GIS e per l'idraulica delle reti (*Autodesk*, 2000; *Bentley Institute*, 2008; *Esri*, 2003; *Tamašauskas et al.*, 2006) offrono tipicamente strumenti diversi per la risoluzione grafica delle più comuni incongruenze.

Per il caso studiato è stato invece scelto il software Free & Open Source GRASS GIS che offre moduli di editing vettoriale, ricerca degli elementi geometrici più prossimi, manipolazione delle tabelle di attribuiti, join spaziale, creazione di nuovi elementi puntuali a partire da coppie di coordinate e integrazione dei dati di quota disponibili con le informazioni altimetriche derivate dal DMT regionale (*Neteler*, 2008).

Tra i vantaggi di GRASS GIS, oltre all'estrema robustezza – che lo rende adatto ad operare con criteri topologici su rilevanti basi informatizzate (*Scarinci*, 2010) – e all'assenza di costi di licenza, si evidenzia lo spiccato orientamento all'automazione dei processi. Tutti i moduli di GRASS GIS sono infatti direttamente integrabili in linguaggio *bash* ed è quindi possibile sviluppare rapidamente il processo di ricostruzione topologica ed integrazione altimetrica.

Inoltre sono stati recentemente rilasciati moduli aggiuntivi per GRASS GIS di integrazione con il software EPANET (*Ciolli*, 2010) che consentono sia di esportare una struttura vettoriale GRASS GIS archi-nodi nel formato di input per EPANET sia di importare i successivi report di output popolando il vettoriale di GRASS GIS con i risultati della simulazione. Nel seguito vengono espone le diverse fasi in cui si è sviluppata l'analisi di ricostruzione topologica.

#### 3.1 Ricerca del punto topologicamente corretto più prossimo al nodo esistente

La prima fase della procedura genera dai soli archi (livello condotte) un livello ausiliario puntuale topologicamente corretto di nodi e per ciascun nodo originario individua il nodo ausiliario più prossimo ovvero il punto di minima distanza dalla più vicina asta, memorizzando l'entità degli scostamenti (Tab.2).

distanza	(m)	0	1E-6	1E-5	1E-4	1E-3	1E-2	1E-1	1E+0	1E+1	totale
<b>ATO1</b>	<b>sorgenti</b>	1	3	0	2	8	72	246	107	0	439
	<b>serbatoi</b>	13	8	9	10	18	94	230	132	5	519
<b>ATO2</b>	<b>sorgenti</b>	0	0	0	2	16	73	395	222	1	709
	<b>serbatoi</b>	4	0	3	6	15	77	394	208	8	715
<b>ATO3</b>	<b>sorgenti</b>	44	22	7	6	26	73	475	202	10	865
	<b>serbatoi</b>	45	10	4	4	10	48	416	201	34	772
<b>ATO4</b>	<b>sorgenti</b>	4	13	20	25	64	137	417	191	7	878
	<b>serbatoi</b>	7	6	14	12	32	109	415	228	4	827
<b>ATO5</b>	<b>sorgenti</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	<b>serbatoi</b>	1	2	3	0	1	11	107	33	2	160
<b>ATO6</b>	<b>sorgenti</b>	0	0	0	1	10	26	128	63	0	228
	<b>serbatoi</b>	0	0	0	1	23	76	273	139	11	523
	<b>totale</b>	119	64	60	69	223	796	3497	1726	82	6636
		1,8%	1,0%	0,9%	1,0%	3,4%	12,0%	52,7%	26,0%	1,2%	100,0%

**Tabella 2.** Distribuzione per classi di distanza degli scostamenti tra nodi originari e posizione topologicamente corretta, per tipologia di nodo e per singolo ATO.

Dall'analisi delle distanze tra elemento originario e posizione topologicamente corretta, si può osservare che:

- meno del 2% dei nodi originari risulta posizionato correttamente (distanza=0);
- più della metà degli scostamenti ricade nel range tra 0.1 e 1m, tale errore è confrontabile con la precisione della Carta Tecnica Regionale piemontese ( $\sigma_{\text{planimetria}}=2\text{ m}$ );
- meno del 20% di elementi presenta scostamenti nell'intervallo tra  $10^{-6}$  (limite della precisione di memorizzazione) e  $10^{-2}$  m, ovvero scostamenti di natura meramente numerica, vista la precisione della cartografia;
- circa il 25% di elementi presenta, invece, scostamenti compresi tra 1 e 10 m; si tratta di errori significativi rispetto alla precisione e appare opportuno, vista la loro numerosità, procedere ad una loro correzione automatica;
- circa l'1% di elementi presenta invece errori oltre i 10 m, che vengono assunti come soglia per effettuare verifiche puntuali.

La tabella degli attributi dei livelli originari viene quindi integrata con la distanza e con le coordinate riferite al punto più prossimo (nodo o asta).

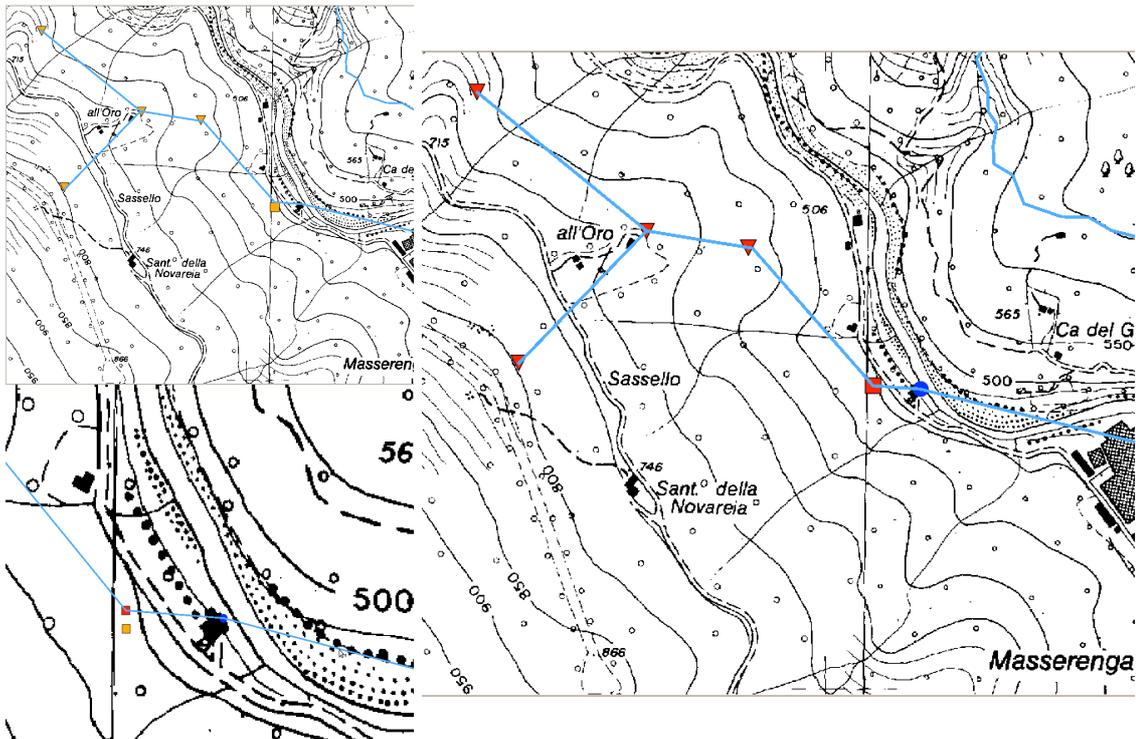
### 3.2 Riposizionamento dei nodi originari

Nel caso in cui il punto prossimo e topologicamente corretto individuato nella fase 3.1 sia un nodo ausiliario, il nodo originario viene riposizionato nella posizione topologicamente corretta di cui sono state ricavate le coordinate (Figura 1).

### 3.3 Segmentazione delle aste originarie

Nel caso in cui il punto prossimo e topologicamente corretto individuato nella fase 3.1 ricada su un'asta, il nodo originario viene riposizionato sull'asta e questa viene spezzata in corrispondenza del punto stesso. La serie di queste operazioni costituisce la fase relativamente più onerosa in termini di tempo di elaborazione dell'intera procedura, per la necessità di GRASS GIS di validare il livello prima di ogni nuovo *editing*.

A ciascuna nuova asta occorre assegnare un identificativo univoco ed aggiornare l'informazione sulla lunghezza risultante a seguito della segmentazione.



**Figura 1.** Illustrazione delle correzioni topologiche apportate allo schema originario (alto sx) per ottenere lo schema corretto (dx), attraverso la generazione di nodi ausiliari che ereditano le proprietà di quelli originari (basso sx).

### 3.4 Ridefinizione dei livelli topologicamente corretti

I risultati parziali delle prime fasi della procedura vengono aggregati, escludendo eventuali nodi duplicati; laddove fosse necessario per ragioni di correttezza topologica si inserisce e si assegna il corretto codice impianto ad un nodo di giunzione, anche se privo di specifiche caratteristiche idrauliche.

### 3.5 Integrazione dei dati altimetrici da DTM

Utilizzando il DTM regionale con passo 50 m, georiferito nel sistema ED50 – UTM32N, la procedura assegna agli oggetti puntuali e ai nodi di quelli lineari la quota del corrispondente pixel.

Risulta così possibile stimare la quota dei nodi e calcolare la lunghezza delle condotte sul terreno, informazione che si aggiunge alla lunghezza nota disponibile come proiezione sul piano.

## 4 DEFINIZIONE DEGLI SCHEMI DI ADDUZIONE SECONDO IL MODELLO EPANET

Il modello di simulazione idraulica EPANET computa i carichi ai nodi e le portate sui tratti per un fissato set di livelli dei serbatoi, di livelli degli invasi e di domande d'acqua in una successione di punti nel tempo, ricorrendo a elementi fisici (*physical components*) e non-fisici (*non-physical components*).

In merito agli elementi fisici, il software utilizza un modello logico ad archi (*links*), connessi tra loro tramite nodi (*nodes*); nello studio le reti sono state rappresentate con condotte (*pipes*) come *links*, mentre i nodi di intersezione (*junctions*), i serbatoi (*tanks*) e i bacini (*reservoirs*) costituiscono i *nodes*.

Le relazioni topologiche tra archi e nodi sono espresse con il modello logico delle coppie di attributi “*from node to node*”; l'informazione geometrica della posizione è assegnata ai soli nodi mentre le aste sono caratterizzate dall'attributo di lunghezza. A ciascun oggetto è assegnato un codice identificativo univoco e le tipologie di nodi sono distinte da un codice numerico (1 - *junction*, 2 - *reservoir*, 3 - *tank*).

Nel caso in esame lo scopo della modellazione è finalizzato a conoscere il carico idraulico di ciascun nodo dell'impianto nelle normali condizioni di funzionamento, per poter valutare il salto residuo e, quindi, la possibilità di inserimento di una turbina idroelettrica a monte del serbatoio di testata della rete di distribuzione. In tale ottica:

- il serbatoio di linea a quota inferiore è rappresentato come *junction* avente quota pari a quella di sfioro del serbatoio e domanda idrica pari alla sommatoria delle portate di concessione di ciascuna captazione che alimenta l'impianto. Tale scelta è accettabile nei casi di infrastrutture con derivazioni dirette dall'adduzione principale trascurabili;
- le condotte sono caratterizzate dalla loro lunghezza ricostruita su DTM; per quanto riguarda la scabrezza si assumono i valori di letteratura (*Rossmann, 2000*) in funzione del materiale di costruzione della tubazione.

## 5 INTEGRAZIONI LOGICHE CON DATABASE SPAZIALE ED ELABORAZIONI PROPEDEUTICHE A EPANET

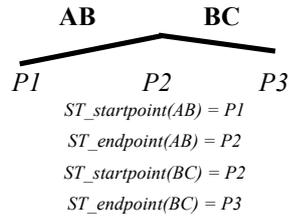
Terminata la ricostruzione topologica della rete, i dati sono esportati in formato shapefiles e importati in un database spaziale, al fine di completare il processo di integrazione logica delle informazioni e allestire i dati nel formato necessario all'applicazione dei moduli GRASS GIS – EPANET.

La maggiore difficoltà di tale fase deriva dal fatto che strutture dati, codifiche ed informazioni degli schemi preesistenti sui quali si opera risultano definiti per finalità diverse dalla simulazione idraulica dell'impianto e differiscono pertanto profondamente dagli standard richiesti dai modelli.

Prima di applicare procedure di “conversione” tra formati CAD (software free: EPACAD, DXF2EPA; *Viccone, 2009*) o GIS (software free: SHP2EPA, SHP2INP; *Ciolfi, 2010*) e modello EPANET, deve essere condotta un'operazione di integrazione, bonifica e ricodifica degli attributi, con lo stesso livello di automazione e affidabilità richiesta per la topologia dello schema.

L'uso di un database sufficientemente potente (supporto SQL completo, funzioni di elaborazione di stringhe, gestione costrutti logici) si rivela quindi indispensabile; è stato quindi adottato il database PostgreSQL (integrabile con GRASS GIS) con la sua estensione PostGIS, che implementa funzioni spaziali (secondo lo standard OpenGIS) estremamente utili.

Una delle principali elaborazioni condotta utilizzando le funzioni spaziali è infatti la costruzione del modello logico “*from node – to node*” richiesto da EPANET: a partire dalle relazioni topologiche tra oggetti geografici; la query di verifica dell'identità tra le coordinate del nodo e il risultato delle funzioni spaziali *ST\_startpoint()* e *ST\_endpoint()* implementate da PostGIS ed applicate agli archi, permette infatti di ottenere per ogni condotta la tabella di relazione (Fig.2).



link	From node	To node
AB	P1	P2
BC	P2	P3
...	...	...

**Figura 2.** Illustrazione delle funzioni OpenGIS  $ST\_startpoint()$  e  $ST\_endpoint()$  per la ricostruzione della tabella di relazione “from node – to node” per ciascun arco.

Le stesse funzioni spaziali possono essere utilizzate per identificare tutti i nodi di connessione tra impianti anagraficamente distinti, ma fisicamente connessi, potendo definire un insieme ridondante di nodi funzionale all'estrazione integrale della struttura impianto dato il codice univoco.

Le potenzialità del linguaggio SQL e di alcune funzioni interne di PostgreSQL consentono inoltre di assegnare codifiche e attributi corretti secondo la standard EPANET ai diversi oggetti, aggregare i dati di portata derivata ed assegnarli al serbatoio a quota minima, assegnare a ciascuna condotta la corretta scabrezza in ragione del materiale, così come descritto in tabella ausiliarie, colmare le lacune nella conoscenza delle quote con i dati derivati dall'analisi del DTM la dove non sia disponibile un dato da inventario e comporre un solo blocco omogeneo di informazioni sui nodi pur a partire da oggetti diversi.

I dati integrati e allestiti (Fig. 3) possono essere importati direttamente in GRASS GIS specificando la sequenza degli impianti di interesse e immediatamente rielaborati con i moduli `v.epanet.out` per ottenere i file di input \*.INP per EPANET.

**Figura 3.** Illustrazione degli attributi di oggetti nodo (in alto) e arco (in basso) connessi, nella situazione originaria (sx), con le correzioni topologiche e di quota (centro) e infine con la rielaborazione funzionale al modello EPANET

## 6 SIMULAZIONE IDRAULICA DELLA RETE, VERIFICHE E VALIDAZIONE DEGLI SCHEMI

L'elaborazione in modalità *batch* di EPANET di una serie di impianti permette in tempi limitati di verificare se i dati di input forniti al modello portano all'individuazione di una soluzione stabile dei carichi sulla rete oppure se, per ragioni diverse, occorre rivedere l'input stesso perché erraneo.

In caso di errori di tipo logico (di norma riconducibili ad errori di prima acquisizione dei dati), oltre al report EPANET, è essenziale visualizzare in ambiente GIS lo schema di impianto.

L'assenza di una o più indicazioni dei diametri delle condotte è abbastanza comune, soprattutto per gli impianti più complessi. Tali lacune sono solitamente di rapida integrazione perché, proprio attraverso la visualizzazione dello schema in ambiente GIS, si può ragionevolmente supporre il diametro assente per analogia con quelli prossimi. Sono possibili anche casi di non corretta codifica di uno o più elementi, che portano alla presenza di nodi in eccesso non connessi con alcun arco o, specularmente, reti con assenza di uno o più nodi. L'analisi per impianto permette di evidenziare molto efficacemente questi errori, particolarmente insidiosi e di difficile bonifica con altre procedure di *data cleaning*. Altrettanto utile per evidenziare anomalie nei dati di input è l'analisi delle anomalie idrauliche, in particolare, relativamente alle perdite di carico. Si riscontrano principalmente situazioni di perdite anomale per portate eccessive rispetto ai diametri delle condotte oppure configurazioni di non-equilibrio. In questi casi la soluzione richiede tuttavia una verifica con il gestore dell'infrastruttura per l'acquisizione di ulteriori dati.

## 7 UN CASO APPLICATIVO: STIMA DI PRODUCIBILITÀ IDROELETTRICA

Il processo di ricostruzione topologica sopra descritto è esemplificato all'interno di analisi a grande scala della producibilità idroelettrica di reti di adduzione. In particolare, avendo a disposizione dati preliminari di producibilità ottenuti da metodi semplificati (Plebani et al, 2007) si mostra il risultato del confronto tra una simulazione EPANET effettuata sulla rete ricondizionata col metodo proposto e la valutazione di dettaglio ottenute attraverso l'analisi di dati acquisiti direttamente dal gestore (Soffia, 2011). Dal momento che i dati disponibili nel database sono parzialmente carenti rispetto all'insieme minimo necessario per la simulazione in EPANET, occorre formulare alcune ipotesi semplificative aggiuntive in merito ai *physical components*:

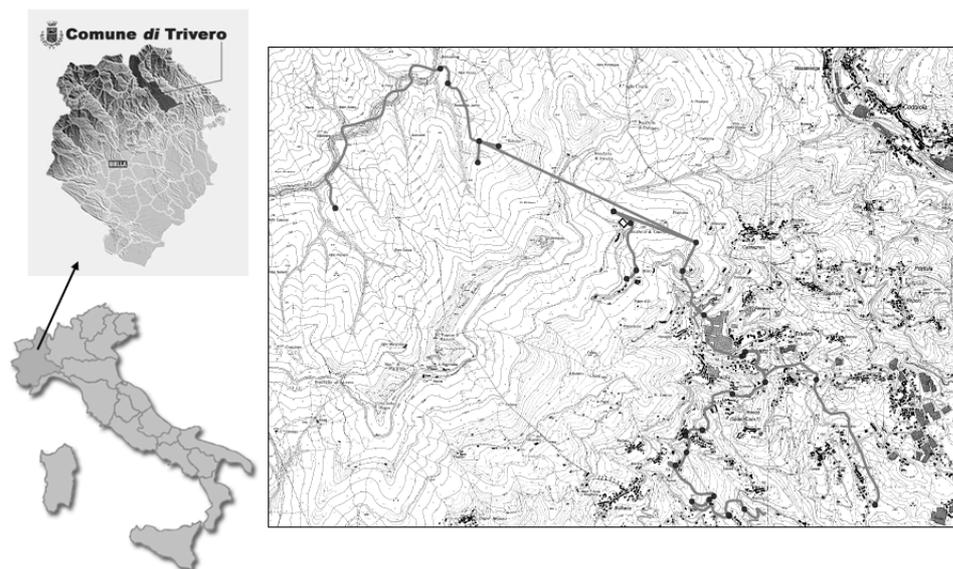
- in mancanza di dati specifici, i serbatoi di linea (tranne quello a quota minima) sono caratterizzati da un diametro di 5m e da una oscillazione tra livello massimo e minimo della stessa entità. Tale scelta è apparsa ragionevole considerando infrastrutture montane e pedemontane;
- lo stato iniziale di ciascuna delle condotte che ha origine da una captazione è caratterizzata da uno stato iniziale CV (*Check Valve*), che assicura che la condotta funzioni come una valvola di non ritorno, consentendo la direzione del flusso in un'unica direzione (dalla captazione al serbatoio/nodo) per evitare i flussi in direzione delle sorgenti;

in merito ai *non-physical components* invece:

- per il calcolo delle perdite di carico si utilizza la formulazione di Chezy-Manning;
- la durata della simulazione è imposta pari a 72 ore per stabilizzare i livelli idrici nei serbatoi e consentire una simulazione quasi-stazionaria.

Il caso presentato riguarda lo schema di adduzione del comune di Trivero, il cui dettaglio è stato analizzato nel progetto IMONT (Claps et al., 2004), situato in Alta Val Sessera, a circa 30 km da Biella in direzione Nord-Est. Il comune di Trivero è servito da un acquedotto comunale alimentato da due prese superficiali situate sul Rio Croso delle Lacere a quota 650m s.l.m.m. e sul Canale della Costa a quota 800m s.l.m.m., entrambi affluenti di destra del torrente Sessera. Sul Rio Croso delle Lacere sono disposte una serie di briglie che creano delle vasche di calma, dall'ultima delle quali è derivata la portata di circa 50l/s. In questa vasca si raccolgono anche le acque derivate dal Canale della Costa tramite una tubazione di circa 2km di lunghezza. La portata totale derivata è raccolta in un serbatoio a quota 650m s.l.m.m., vicino alla derivazione sul Croso delle Lacere. Al bottino di raccolta si aggiungono anche le acque derivate da un gruppo di 5 sorgenti, di cui una è stata sommersa da una frana, situate all'Alpe Scalveuci a quota 1000 m s.l.m.m. circa. Tramite una galleria in roccia, scavata negli anni '50 lunga circa 2km, le acque vengono convogliate nel serbatoio in località Craviolo avente una capacità d'accumulo di 400m<sup>3</sup> e quota di sfioro a 934m s.l.m.m.. All'interno della galleria vengono inoltre captate le acque di 16 sorgenti di modesta entità, che, in condizioni di siccità, sono praticamente asciutte. Da questo serbatoio parte una condotta, di lunghezza totale di 3,6km circa, che alimenta 5 serbatoi, con una capacità totale di accumulo

di 2300m<sup>3</sup>, disposti a cascata da cui partono le distribuzioni agli utenti del comune. L'ultimo serbatoio è a quota 550m s.l.m. I serbatoi sono necessari per ridurre la pressione troppo alta dovuta al dislivello tra il primo serbatoio e l'ultima utenza, rappresentata dalla frazione di Ponzone a quota 480m s.l.m.. Inoltre le portate sfiorate dal troppo pieno di ogni serbatoio sono recuperate e convogliate verso il serbatoio più a valle. In Fig.4 è riportato un estratto della Carta Tecnica Regionale con lo schema dell'impianto.



**Figura 4.** Collocazione geografica del comune di Trivero e schema della rete di adduzione.

Le principali caratteristiche dell'acquedotto considerato sono:

- captazioni:
  - quota: Rio Croso delle Lacere - 650m s.l.m.m.; Canale della Costa - 800m s.l.m.m.; Gruppo Trivero 1 - 940m s.l.m.m.; Gruppo Trivero 2 - 1130 - 1050m. s.l.m.m.;
  - gestione: comunale;
  - portata media: 115l/s;
- serbatoio:
  - capacità: 400m<sup>3</sup>;
  - quota di sfioro: 934m s.l.m.m.;
- condotta di adduzione:
  - lunghezza: 238m;
  - materiale: PVC;
  - coefficiente di Strickler: 120m<sup>1/3</sup>=s;
  - diametro nominale 200mm;

I dati utilizzati per il confronto sono: le stime ottenute nell'approccio semplificato proposto da *Plebani et al., 2007*, nel quale non c'è ricostruzione dei percorsi della rete; Il calcolo effettuato in EPANET dopo il ricondizionamento della rete, ed il riscontro effettuato con analisi di dettaglio, che ha richiesto il riscontro in loco delle posizioni effettive degli elementi e le loro connessioni.

L'ipotesi progettuale per la seconda e terza elaborazione è illustrata in Fig.5 e prevede l'installazione di più impianti mini-hydro (MHP) lungo la condotta di adduzione principale dell'acquedotto. Operando in questo modo si ipotizza di sfruttare al massimo le potenzialità idroelettriche dell'impianto. Non avendo informazioni ufficiali sulla portata, come ad esempio una serie annuale, la stima di producibilità viene basata su un dato medio di 115 l/s comunicato dal personale che gestisce l'acquedotto (ed utilizzato anche in *Plebani et al., 2007*). Considerando la valutazione effettuata a seguito della ricostruzione di rete sopra descritta ne risultano cinque possibili ipotesi di inserimento di un impianto micro-hydro, riportate in Fig.5 con i relativi valori di salto utile insieme ai valori di potenza producibile stimata.

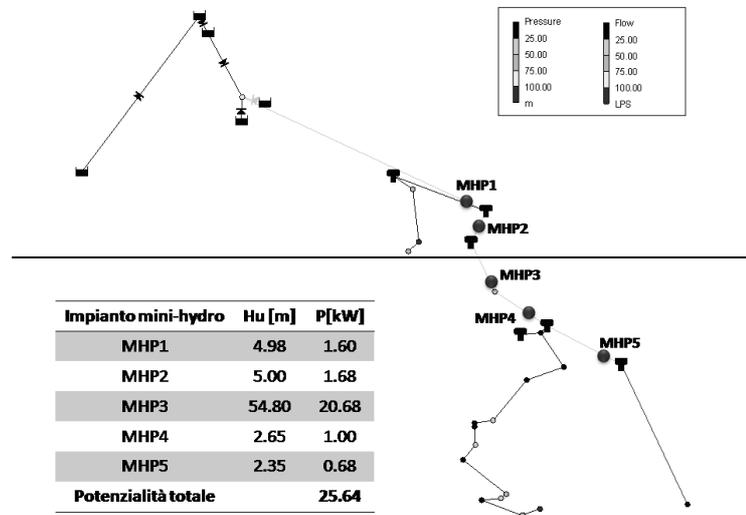


Figura 5. Schema della rete di adduzione del comune di Trivero e ipotesi di installazione di impianti mini-hydro.

$-P_{ni}$ [kW]	$P_{ne}$ [kW]	$P_{epanet}$ [kW]
31.77	-	25.64

Tabella 3. Confronto fra stime di potenzialità intrinseca ed effettiva ( $P_{ni}$  e  $P_{ne}$ ), la potenzialità stimata attraverso la simulazione idraulica ( $P_{epanet}$ ).

Da un confronto con i dati e gli schemi della rete di maggior dettaglio forniti dal gestore, si ricava infine il dato finale di stima della producibilità complessiva, pari a 23,4kW, assumendo un rendimento della macchina pari a 0,9). Rispetto ad una realistica valutazione della producibilità, ma soprattutto della convenienza economica complessiva del progetto si evidenziano tuttavia alcune criticità relative alla classificazione degli elementi nel database regionale, ed in particolare:

- carenza di informazioni in merito alle portate reali;
- la presenza di pozzetti rompitratta e valvole non rappresentati nel database regionale;
- la presenza di derivazioni lungo l'adduttrice con portate non trascurabili.

Quanto qui mostrato rappresenta pertanto utile ad avvicinare i risultati alle condizioni reali, riducendo il numero di casi solo apparentemente vantaggiosi. Per quelli che rimangono tali anche dopo il ricondizionamento della rete occorrerà pur sempre procedere ad indagini puntuali, che definiscano le condizioni effettive delle condotte, delle portate e delle erogazioni a domanda.

## 8 CONCLUSIONI

La possibilità di elaborare dati relativi a reti acquedottistiche su grande scala attraverso modellizzazione idraulica offre notevoli vantaggi nel supportare valutazioni gestionali, comprese quelle energetiche (producibilità con mini-idroelettrico; ottimizzazione energetica per pompaggio). Tali possibilità rappresentano un rilevante miglioramento rispetto a quelle, necessariamente semplificate, offerte dalle elaborazioni di dati non topologicamente connessi relativi agli schemi acquedottistici informatizzati per finalità di inventario o di rappresentazione grafica.

Per condurre valutazioni quantitative occorre tuttavia disporre (o ricostruire laddove carente) di una rappresentazione GIS degli schemi che presenti coerenza topologica, altimetrica e logica tra i suoi elementi. Se infatti tali specifiche non risultano soddisfatte, perché non previste dal modello informatico concettuale o per errori nell'acquisizione dei dati, le potenzialità elaborative si rivelano limitate. Inoltre occorre riorganizzare ed integrare, anche formulando ipotesi semplificative, i database collegati (informazioni alfanumeriche e codifiche), soprattutto in funzione del modello idraulico che sarà impiegato. In questo studio è stata illustrata, nelle sue diverse fasi, una procedura automatica di ricostruzione topologica, integrazione e validazione applicata agli schemi acquedottistici di adduzione disponibili nel database del sistema informativo delle risorse idriche della Regione Piemonte. La

procedura, sviluppata con l'uso di software Free GRASS GIS; PostgreSQL+PostGIS e EPANET, ha portato ad una significativa riqualificazione dei dati disponibili ed ha permesso di evidenziare alcune inconsistenze legate alla produzione originaria del dato, con rilevanti vantaggi per tutte le applicazioni basate sulle analisi della rete. Una applicazione dimostrativa dei risultati della procedura ha riguardato la valutazione della producibilità idroelettrica di sistemi acquedottistici di adduzione in ambiente montano.

I risultati ottenuti, ferma restando la necessità di successivi approfondimenti tecnici per poter elaborare studi di fattibilità, hanno confermato la possibilità di un miglioramento non trascurabile delle stime condotte grazie alla modellizzazione idraulica rispetto ai metodi semplificati, che restano utili in particolare per una prima visualizzazione delle zone a maggior vocazione idroelettrica e una classificazione degli impianti per tipologia.

## BIBLIOGRAFIA

- Autodesk, Autocad Map 2000 User Guide, 1999
- Bentley Institute, Bentley Map Fundamentals XM Edition, 2008
- Borzi A., Cannizzaro, D., De Maria, M., Il processo di modellazione di sistemi idrici su larga scala, L'Acqua, AII, 2010, ISSN: 1125-1255.
- Ciulli, M., Righetti, M., Sboarina, C., Tattoni, C., Vitti, A. and Zatelli, P. Nuova interfaccia GRASS-EPANET: uno strumento integrato per la progettazione, l'analisi e la gestione di reti idrauliche, *FOSS4G-IT Free and Open Source Software for Geospatial Meeting di lingua italiana*, Lugano, 2010.
- Claps, P., Sileo, C. and Mecca, G., 'Un database per gli schemi acquedottistici di adduzione: codifica e ipotesi di classificazione dei livelli di servizio', *L'Acqua*, 2000, 2(2), 53-94.
- Claps, P., Butera, I., Laio, F., Viglione, A., Giordano, P., Erme, C., Barberis, C. and Vezzù, G. Analisi della vulnerabilità dei sistemi di approvvigionamento idrico montano, con riferimento al comprensorio dell'alta Val Sessera, Technical report, EIM, 2004.
- Claps, P., Revelli, R., Poggi, D., Plebani, M., Miotto, F. and Soffia, C. Produzione di energia idroelettrica eco-compatibile dagli acquedotti: studio di sostenibilità sul territorio piemontese, Technical report, Regione Piemonte, 2010.
- ESRI, ArcGIS™: Working With Geodatabase Topology, ESRI White Paper, 2003
- Miotto, F., Claps P., Revelli R., Poggi D., Produzione di energia idroelettrica eco-compatibile da acquedotti: analisi di fattibilità economica, XXXI *Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Perugia*, 9-12 settembre 2008, Morlacchi (ITA), XXXI *Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Perugia Settembre 2008, 2008, ISBN: 9788860742209
- Neteler M., Beaudette D.E., Cavallini P., Lami L. and Cepicky J., GRASS GIS, *Open Source Approaches in Spatial Data Handling*, Advances in Geographic Information Science, 2008, Volume 2, 171-199
- Plebani, F., Poggi, D., Revelli, R. and Claps, P. Produzione di energia idroelettrica eco-compatibile dagli acquedotti montani e pedemontani: valutazione a scala regionale delle potenzialità delle reti di adduzione, *Approvvigionamento e Distribuzione Idrica: Esperienza, Ricerca ed Innovazione*, Ferrara, 2007
- Provincia di Torino, Studio sul potenziale energetico dell'utilizzo a scopo anche idroelettrico delle acque destinate ad usi idropotabili, Technical report, 2005.
- Regione Piemonte Infrastrutture del servizio idrico in Piemonte, Technical report, Regione Piemonte, 2000
- Rossmann, L. A. EPANET 2 - Users Manual, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, 2000.
- Scarinci R. and Ponti M. Clean Pseudo Nodes: tool di pulizia per network, *FOSS4G-IT Free and Open Source Software for Geospatial Meeting di lingua italiana*, Lugano, 2010.
- Shamsi, Uzair M GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems, CRC Press, 2005.
- Soffia C., Claps P., Poggi D., (a) Valutazione preliminare su grande scala del potenziale di produzione di energia idroelettrica eco-compatibile da sistemi acquedottistici, L'Acqua, AII, 2010, ISSN: 1125-1255.
- Soffia C., Miotto F., Poggi D., Claps P., (b) Hydropower potential from the drinking water systems of the Piemonte region (Italy), *Sustainable energy in the new era: proceedings of the 4th international conference on sustainable energy and environmental protection*, SEEP2010, Bari (IT) June 29/July 02, Proceedings of the 4th international conference on Sustainable Energy and Environmental Protection, Politecnico di Bari - Biblioteca Bruccoli Press, 2010. ISBN: 9788890518508.
- Soffia C. Analisi di sistemi acquedottistici di adduzione per finalità di produzione idroelettrica, Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino, Torino, 2011.
- UNCEM, Indagine sulle potenzialità di produzione idroelettrica nelle aree montane delle province di Biella, Cuneo e Torino, Technical report, 2008.
- Tamašauskas H., Larsen L.C. and Mark O., Using GIS in water supply and sewer modelling and management, 4th Asia-Pacific DHI Software Conference, Shanghai, 2006
- Viccione G., Una procedura per la generazione automatica dei file di input per reti idriche simulate con Epanet: presentazione di un caso di studio, L'Acqua, AII, 2010, ISSN: 1125-1255.