

P. Claps*, C. Sileo**, G. Mecca*

UN DATABASE PER GLI SCHEMI ACQUEDOTTISTICI DI ADDUZIONE: CODIFICA E IPOTESI DI CLASSIFICAZIONE DEI LIVELLI DI SERVIZIO

Sommario

Viene presentato uno schema di codifica degli elementi di un sistema idropotabile di adduzione al fine di valutarne alcune caratteristiche funzionali. A tal fine viene costruito un database relazionale organizzato in modo da fornire anche informazioni sulle caratteristiche di connettività degli elementi dello schema. Per l'estrema semplicità e l'ampia disponibilità dello strumento informatico utilizzato, questa procedura si presenta particolarmente conveniente come prima applicazione informatizzata anche per schemi molto estesi, e fornisce indicazioni utili per indirizzare successivi approfondimenti. Un esempio di applicazione di criteri che possono aiutare a definire i livelli di servizio per le diverse utenze è riportato con riferimento all'acquedotto del Basento, in Basilicata.

Summary

A drinking water system is conceptually redesigned here using its basic elements to evaluate its main operative characteristics. To this end, a relational database is built and organised so as to preserve information on the characteristics of connectivity of the system elements. This procedure presents interesting aspects with regard to the application of preliminary analysis even on large water systems, owing to the generality of the schematisation and to the wide availability of the database management system that was used. The screening on service levels made with this procedure can provide useful information in view of the application of more refined models for reliability evaluation. An assessment of the operation service levels of the Basento water system in Basilicata (Italy) is presented as a case study.

Sommaire

On présente une schematisation d'un système d'aqueduc d'adduction pour la mise en oeuvre d'une méthodologie pour sa classification, que amène à l'évaluation de l'efficacité de son fonctionnement. Pour obtenir ça, on construit un base de données relationnelle, qui préserve les caractéristiques de connection des éléments du schema. Ce méthodologie peut représenter un support très utile pour l'évaluation préliminaire des situations de fonctionnement inefficace aussi pour systèmes d'aqueduc de grandes dimensions, grâce à la simplicité et à la flexibilité du système de gestion de base de données qui a été utilisé, et peut représenter le point de départ pour l'application de méthodes plus raffinées. La méthodologie présentée a été appliquée sur l'aqueduc du Basento, en Italie.

* Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza

** Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli studi di Roma "Tor Vergata", Roma

1. INTRODUZIONE

La gestione efficiente di uno schema acquedottistico richiede l'uso di procedure informatizzate, per le quali si può parlare di due diversi livelli di applicazione:

- l'applicazione in fasi di analisi, nella quale si possono valutare aspetti relativi all'efficienza, o affidabilità, del servizio.
- l'applicazione in fase di esercizio, nella quale si dispone di un quadro organico, facilmente aggiornabile, delle caratteristiche strutturali del sistema. Sulla base di questa risulta agevole determinare costi di esercizio, frequenza degli interventi di manutenzione etc.

In questo lavoro viene proposta una rappresentazione schematica di un sistema di adduzione, che unisce fonti di approvvigionamento a centri abitati, e viene presentato il progetto di un database relazionale, che può costituire il già citato strumento informatico utile sia in fase di analisi che di esercizio.

La rappresentazione del sistema qui adottata non è dettagliata come nel caso di prodotti fatti per supportare, ad esempio, gli schemi di telecontrollo degli acquedotti, i quali sono spesso basati su applicazioni di sistemi informativi territoriali. Tuttavia, la semplicità dell'approccio qui proposto costituisce un suo ingrediente importante, poiché l'implementazione dello schema non richiede competenze particolari, ed è basata su software di uso comune e di basso costo. D'altro canto le informazioni contenute nello schema consentono, come si vedrà più avanti, di impiantare criteri utili ad una preliminare valutazione di funzionalità del sistema acquedottistico.

2. RAPPRESENTAZIONE INFORMATIZZATA DI SCHEMI ACQUEDOTTISTICI

2.1 Tipologie di strumenti informatici commerciali

L'analisi del funzionamento di reti di condotte è un problema che ha ricevuto molta attenzione nel campo del software ingegneristico. Ciò vale soprattutto per le reti urbane, che sono caratterizzate da elevato numero di tratti di condotta e, soprattutto, da un elevato grado di interconnessione delle stesse.

Tra i software per il calcolo idraulico delle reti urbane di distribuzione dell'acqua se ne possono citare alcuni noti in ambito internazionale: WATER CAD (Haestad Methods), EPANET (Water Supply & Water Resources Division) e WESNET (Aquaware System). A questi possono aggiungersi certamente altri prodotti, disponibili in ambito anche nazionale. In tutti questi pacchetti software esiste una spiccata enfasi verso i problemi del calcolo idraulico, mentre le possibilità di supporto alla gestione della rete sono controllate da moduli di

cartografia computerizzata (CAD), più o meno integrati nel sistema software. Di solito questi sistemi CAD non sono particolarmente adatti per problematiche di gestione, in quanto sono orientati ad esigenze di tipo progettuale o ad una dettagliata rappresentazione grafica. Ad esempio, hanno una limitata capacità di immagazzinare informazioni con riferimento ad un generico tratto di condotta e non si presentano come strumenti flessibili per il raggruppamento di informazioni per categorie.

Sicuramente più adatti a queste esigenze sono prodotti disponibili nell'ambito dei sistemi informativi geografici, (GIS) che alla rappresentazione georeferenziata degli elementi grafici aggiungono cospicue possibilità di gestire attributi degli stessi. Come esempio si possono citare i sistemi specificamente realizzati dalla ESRI a supporto delle analisi di reti, collegati ai software ARC-INFO e ARC-VIEW. In particolare quello relativo al secondo dei due, denominato NETWORK ANALYST, presenta un costo ragionevole ed una maggiore facilità di uso rispetto a pacchetti che richiedono lunghi periodi di addestramento. Problemi di impiego di tutti questi software applicativi possono derivare dal fatto che per gli acquedotti esterni non è sempre chiaramente ricostruibile il tracciato delle condotte, per cui la fase di inserimento delle informazioni georeferenziate può dar luogo a false certezze sulla effettiva configurazione "geografica" del sistema idrico.

Si vede bene, quindi, che esiste uno spazio non secondario per sistemi informatizzati capaci di archiviare l'informazione in modo alfanumerico, e con caratteristiche di flessibilità tale da accettare facilmente eventuali modifiche ed integrazioni. Un vantaggio non trascurabile di questi ultimi sugli altri sistemi è poi rappresentato dal basso costo globale (del software, dell'addestramento e dell'immissione dati).

Nel seguito si esporranno i criteri sulla base dei quali è stato configurato il database relazionale qui proposto e le principali funzionalità dello stesso.

2.2 Caratteristiche del database proposto

Volendo classificare gli elementi fondamentali di uno schema idrico, si può senz'altro iniziare dalle *fonti di alimentazione*, che si possono identificare con le opere di captazione delle sorgenti o con i campi pozzi. Si può proseguire poi con tutte le opere "di estremità", quali i *bottini di riunione*, che raccolgono le acque di più sorgenti prima dell'immissione nell'adduttore principale, i *serbatoi di linea*, i *partitori a pelo libero* e quelli in *pressione*, gli *impianti di sollevamento* ed i *serbatoi di testata* che precedono la distribuzione dell'acqua verso le utenze formali. Va subito puntualizzato che la presenza di serbatoi di testata può non essere sistematica, come nell'esempio più avanti descritto. Questa eventualità non è stata tuttavia contemplata nel modello concettuale.

Tutti questi elementi possono classificarsi come *Punti Nodali*, i quali sono collegati fra di loro tramite le *Condotte*, che rappresentano anche le relazioni tra gli elementi prima descritti, e definiscono la connettività dello schema. Sia i *Punti Nodali* che le *Condotte* di uno schema sono caratterizzati con degli *attributi*, che ne descrivono la posizione, gli aspetti strutturali e quant'altro possa servire per affrontare problematiche gestionali. Con riferimento alle diverse categorie di serbatoi, ad esempio, è importante conoscere il volume e la quota di pelo libero di esercizio, mentre per le condotte si possono indicare il diametro, il materiale, la lunghezza ed i "punti nodali" che esse collegano. Un *Punto Nodale* può essere anche un punto dove cambia una delle caratteristiche della condotta o dove è interposto un pezzo speciale.

Per il progetto della base di dati è stato usato il modello Entità-Relazione (E/R) (Chen, 1976). Il modello consente di descrivere attraverso un diagramma i concetti (detti entità) e le relazioni tra i concetti che sono rilevanti per la base di dati da progettare. Lo schema concettuale così costruito rappresenta il punto di partenza per il progetto e l'implementazione della base di dati relazionale.

Il progetto di una base di dati può quindi essere suddiviso in tre fasi distinte:

- Progettazione concettuale basata sul modello E/R (Chen, 1976);
- Traduzione di tale diagramma in tabelle relazionali;
- Implementazione del modello logico così ottenuto all'interno del DBMS (Data Base Management System).

Il DBMS scelto è il MICROSOFT ACCESS.

Per applicare la metodologia E/R bisogna individuare le *entità*, gli *attributi* e le *relazioni* tra le entità. Nell'ambito dello schema idrico le entità individuate sono i *Punti Nodali* e le *Condotte*. Nella rappresentazione grafica del modello concettuale creato (Fig. 1) gli attributi sono indicati come appendici dell'entità, mentre questa può essere meglio qualificata visualizzando l'insieme degli elementi che ne fanno parte (v. es. punto nodale). A partire dallo schema concettuale rappresentato in Fig. 1 è stata implementata la base di dati, il cui schema è riportato in Tab. 1. In Fig. 2 è riprodotta una schermata relativa alla tabella Punti Nodali.

Tra le entità che sono state identificate possono intercorrere delle *relazioni*. Un legame si rappresenta mediante un rombo e due segmenti che uniscono le entità collegate. Bisogna individuare tutte le possibili relazioni esistenti, che possono essere del tipo uno a uno (1:1), uno a molti (1:n) o molti a molti (n:m). La sub-entità denominata *Nodo di estremità* serve solo a qualificare le tipologie di nodi che rappresentano dei punti di arrivo, per definire chiaramente le direzioni percorribili dall'acqua, dalle fonti verso le forniture.

Nell'ambito degli attributi ai punti nodali, le quote sono state riportate solo per quei punti per cui sono

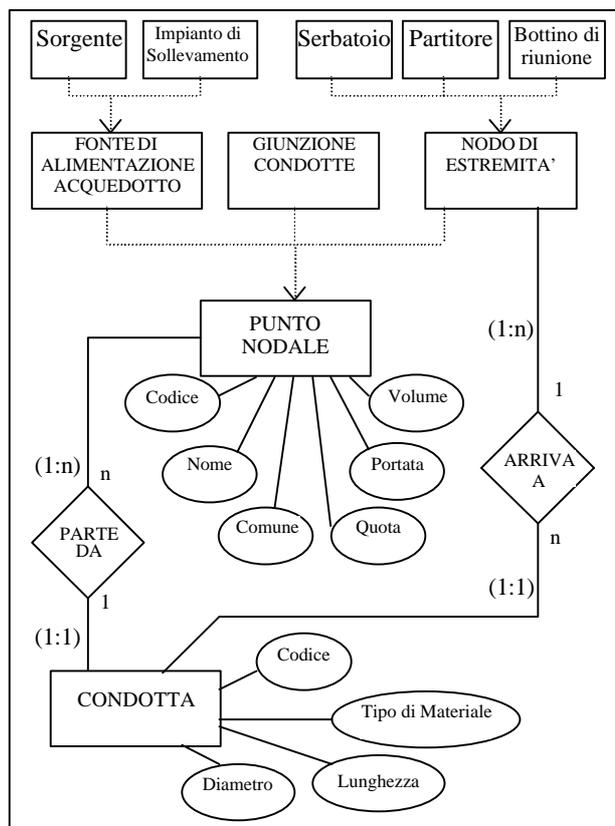


Figura 1. Modello concettuale Entità-Relazione di uno schema acquedottistico.

tecnicamente significative, ossia per i serbatoi, i bottini di riunione e di presa, i partitori a pelo libero e le fonti. Per queste ultime, la quota è quella del bottino di presa o della vasca di riunione a valle del pompaggio.

Su questo database è possibile impostare interrogazioni, con le quali si possono ricavare informazioni su elementi raggruppati con criteri qualsiasi. E' anche possibile valutare direttamente semplici espressioni algebriche relative ai valori assunti dagli attributi selezionati.

Tabella 1. Tabelle e campi della base di dati.

Tabella	Campi
CONDOTTE <i>corrispondente all'entità Condotta ed alle relazioni Parte da ed Arriva a</i>	Codice della condotta Codice del Punto di Partenza Codice del Punto di Arrivo Lunghezza (Km) Diametro (mm) Tipologia materiale
PUNTI NODALI <i>corrispondente all'entità Punto Nodale</i>	Codice Nome della località Tipo di Nodo [Serbatoio, Sorgente, Bottino riunione, Partitore, Impianto di sollevamento, Giunzione] Quota Volume Comune di pertinenza Portata in uscita

Sigla	TipoNodo	Nome	Quota	Volume
Br1	Bottino di presa	Bottino di presa di Betina	1207	
Br1	Bott. di riunione	Bott. di riunione di Peschiera	630	
Br2	Bott. di riunione	Bott. di riunione di Aggia	600	
Br3	Bott. di riunione	Bott. riunione di Capo d'Agri	929	
Br4	Bott. di riunione	Bottino di riunione di Curvino (Monte	921	
Br5	Bott. di riunione	Bottino di Linise	1090	
Br6	Bottino di riunione	Bottino di S. Michele	1102	
Br7	Bottino di riunione	Cergarone	1075	
Br8	Bott. di riunione	Bottino di riunione di Fossa Cupa	1145	
Br9	Bottino di riunione	Oscuriello	908	
Font10	Sorgente	Sorgitora II	910	
Font11	Sorgente	San Michele bassa	1125	
Font12	Sorgente	Linise	1070	
Font2	Sorgente	Aggia	600	
Font3	Sorgente	Capo d'Agri II	1072	
Font4	Sorgente	Capo d'Agri III	1072	
Font5	Sorgente	Curvino	838	
Font7	Sorgente	Betina	1207	

Figura 2. Schermata rappresentativa della Tabella PuntiNodali.

Mediante una particolare sequenza di interrogazioni sulla tabella *Condotte*, detta "chiusura transitiva", è stato possibile costruire tutti i possibili percorsi esistenti tra due punti qualsiasi dello schema acquedottistico. Questa procedura è assistita da apposite maschere, che consentono di inserire i punti estremi del percorso che si vuol ricercare, e di visualizzare poi il risultato dell'interrogazione (Fig. 3). La tabella che ne risulta,

può essere automaticamente inserita in un foglio di calcolo (EXCEL) ed è possibile visualizzare il profilo altimetrico del percorso.

Nei paragrafi seguenti si mostrerà come questa base di dati possa servire da supporto ad analisi in qualche modo connesse con la valutazione dell'affidabilità dello schema idrico.

**INDIVIDUAZIONE DEI PERCORSI DELL'ACQUEDOTTO DEL
Basento Agri**

Percorsi DA **Br1** Bott. di riunione di Peschiera A: **Sr45** Corleto

Percorso: 1 Totale Percorsi: 2

CONDOTTA	Nodo Iniziale	Quota (m)	Lunghezza (Km)	Diametro (mm)	Quota (m)	Nodo Finale
1	Br1	630	6,3	400	400	Br2
	Bott. di riunione di Peschiera		Arzico		Bott. di riunione di Aggia	
2	Br2	600	0	0		Is3
	Bott. di riunione di Aggia					
3	Is3		2,18	600	584	Sr1
			Arzico		S. Maria	
4	Sr1	584	1	600		Pr23
	S. Maria		Arzico		Partinore Agri	

CONTINUA RICERCA Chiama Excel Successivo Precedente

Figura 3. Maschera di rappresentazione del percorso trovato fra 2 nodi del sistema.

3. INDICI DESCRITTIVI DEI LIVELLI DI SERVIZIO PER UN SISTEMA IDRICO

In un sistema di approvvigionamento idrico possono aversi riduzione di funzionalità per diverse cause: *endogene* (rotture meccaniche, interruzione del rifornimento di energia, riduzione del carico idraulico, etc.), ed *esogene* (naturali o dovute all'azione dell'uomo). Da un altro punto di vista si possono distinguere i disservizi accidentali o temporanei da quelli legati a fenomeni siccitosi o di insufficienza delle fonti di alimentazione.

In questo lavoro si vuole identificare un insieme di indici, tutto sommato riferiti ad entrambe le categorie di cause appena citate, che siano rappresentativi delle condizioni "intrinseche" di funzionalità di un acquedotto esterno rispetto alle sue utenze. In altri termini, attraverso grandezze semplici e facilmente determinabili si vuol valutare il livello di servizio delle utenze solo in relazione alle caratteristiche fondamentali dello schema, senza entrare nel merito delle modalità di funzionamento idraulico in varie configurazioni di portata e senza scendere nel dettaglio dell'analisi statistica delle serie idrologiche delle fonti di alimentazione.

Lo scopo è quello di avere delle indicazioni di massima sulle caratteristiche delle utenze fin dalla fase di prima caratterizzazione dello schema.

In linea di massima ci si ispira a concetti che fanno parte della teoria dell'affidabilità, che vengono brevemente richiamati nel seguito e collegati, per quanto possibile, con gli indici rappresentativi di livelli di servizio.

3.1 Richiami di concetti di affidabilità per reti idriche

La teoria dell'affidabilità, sviluppata per lo studio di strutture meccaniche ed elettroniche complesse, è stata successivamente applicata anche a sistemi di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia, che presentano notevoli analogie con quelli idrici. Una fra le più comuni e generalmente accettate definizioni di affidabilità è la seguente: "affidabilità è la probabilità di un sistema o di una parte di esso (componente), di assolvere correttamente alle proprie funzioni per un prefissato periodo di tempo in determinate condizioni operative" (Billinton e Allan, 1987). Tale definizione racchiude implicitamente i quattro aspetti chiave del problema, che sono: probabilità, definizione di corretto comportamento, periodo di tempo e condizioni in cui il sistema viene ad operare.

Ai fini dell'applicazione della teoria dell'affidabilità, i sistemi idrici di produzione, trasporto, distribuzione d'acqua presentano le seguenti differenziazioni rispetto ai sistemi elettrici (Martini, 1987):

1) *Riduzione a modelli*. Gli elementi e gli schemi che costituiscono i sistemi elettrici corrispondono per lo più ad un limitato numero di esemplari, diffusi in tutto il mondo. Le opere dei sistemi idrici sono invece

generalmente "prototipi". Da qui la difficoltà nella rappresentazione con modelli ripetitivi.

- 2) *Cause dei disservizi*. La maggior parte dei componenti dei sistemi idrici è costituita da opere di ingegneria civile, caratterizzate da vita molto lunga. In esse, le cause esogene di guasto prevalgono su quelle endogene, al contrario di quanto avviene in quelle elettromeccaniche.
- 3) *Funzioni aleatorie*. Mentre per i sistemi elettrici è possibile valutare le grandezze aleatorie a mezzo di statistiche significative, ottenute su base internazionale, per quelli idrici si deve generalmente ricorrere a valutazioni analogiche soggettive.
- 4) *Riserve di volume*. Nei sistemi elettrici, non essendo possibile immagazzinare energia presso gli utilizzatori, occorre prevedere importanti riserve di potenza in grado di intervenire istantaneamente. Negli impianti idrici questo ruolo è svolto dai serbatoi di distribuzione, realizzati presso la rete di distribuzione per motivi di regolazione giornaliera.
- 5) *Effetto quota*. Mentre i collegamenti elettrici sono bidirezionali, quelli idraulici, sono normalmente a senso unico, salvo l'adozione di provvedimenti specifici (centrali di sollevamento di emergenza, etc.).

L'approccio seguito dal Martini (1987) per la definizione di affidabilità strutturale considera due variabili aleatorie:

- λ (failure rate) probabilità che si verifichi un guasto su un elemento del sistema;
- MTTR (mean time to repair) tempo medio occorrente per la riparazione dell'elemento;

Queste due variabili sono riconducibili all'affidabilità del sistema secondo la relazione :

$$A = \frac{1}{\frac{1}{\lambda} + \text{MTTR}} \quad (1)$$

Nell'approccio qui presentato si cerca di evidenziare due aspetti chiaramente connessi alla vulnerabilità di un sistema, (che è il complemento ad 1 dell'affidabilità), quali la frequenza e la severità di fallanza, aspetti non necessariamente legati a λ e MTTR.

3.2 Severità e frequenza di fallanza per sistemi di adduzione

La frequenza di fallanza (FRE) è una variabile introdotta per tener conto dei problemi di natura strutturale che possono verificarsi nel sistema. Questi non comportano necessariamente diminuzioni di volume erogato all'utenza, ma solo dei periodi limitati di disagio per le utenze. Per questo, FRE è soprattutto funzione della lunghezza delle

condotte che servono le singole utenze e della consistenza della riserva idrica di ogni comune.

Al contrario, le fallanze che possono comportare una sostanziale diminuzione di volume per l'utenza, o prolungate interruzioni della fornitura idrica, si possono associare alla severità di fallanza (SEV). Quest'ultima può, ad esempio, dipendere dal carico idraulico disponibile sul serbatoio di testata del comune, tenendo conto che una riduzione prolungata della pressione in condotta penalizza le utenze con minor carico disponibile.

Inoltre SEV può dipendere dalle dimensioni dell'utenza, e quindi dal consumo idrico del centro abitato. Appare abbastanza chiaro, infatti, come una grossa città risentirà di una crisi idrica in misura maggiore rispetto a delle utenze più piccole, soprattutto con riferimento alla quota parte usata per scopi non potabili. Infine, la severità di fallanza può tenere conto anche di cause di natura idrologica, ad esempio legate alla molteplicità e frammentazione delle fonti sorgentizie. Queste sono tanto meno stabili quanto più sono piccole e numerose.

In base a quanto premesso, è possibile introdurre i parametri caratteristici delle utenze da cui far dipendere il livello di servizio. Per ognuno di essi il valore alto indica elevata probabilità di disservizio.

Ai fini della definizione della frequenza di fallanza (FRE), per valutare il peso della riserva idrica accumulabile da ogni utenza si definisce la variabile:

$$\mathbf{VOL} = 1 - \frac{\text{volume dei serbatoi}}{\text{dotazione volumetrica giornaliera}}$$

Nel caso in cui il volume totale dei serbatoi fosse superiore alla dotazione giornaliera, la variabile **VOL** viene posta uguale a zero. Per le utenze servite da più serbatoi si fa riferimento alla somma dei relativi volumi.

Per valutare l'effetto sulla frequenza FRE della lunghezza della condotta terminale relativa ad ogni centro abitato, si definisce il parametro:

$$\mathbf{DIST} = \frac{\text{lunghezza condotta dal partitore principale}}{\text{distanza massima nello schema}}$$

Il *partitore principale* è il serbatoio dove si raccolgono le acque provenienti da diverse fonti di alimentazione e comincia la distribuzione alle utenze. Per centri serviti da più serbatoi si considera la media delle distanze tra questi ed i rispettivi partitori principali. Nel caso in cui un comune sia completamente sganciato dallo schema e collegato a fonti locali, la variabile **DIST** non viene considerata, perché non è significativa.

Per quanto riguarda la severità di fallanza (SEV) le variabili considerate sono:

- Il consumo presunto di una utenza (dotazione idrica espressa in l/s per tutto il comune), che si suppone legato alla severità di fallanza (SEV) tramite la variabile:

$$\mathbf{CONS} = \frac{\text{consumo presunto}}{\text{massimo consumo presunto nello schema}}$$

Per le utenze servite da più serbatoi, il consumo presunto è dato dalla somma delle portate in uscita dai singoli serbatoi di testata. Nel caso di comune completamente sganciato dallo schema e collegato a fonti locali, la variabile **CONS** non è significativa e per questo non viene considerata.

- La presenza di fonti relativamente piccole, definita attraverso il parametro:

$$\mathbf{PERC} = \frac{\text{Somma portata Fonti effimere}}{\text{consumo presunto}}$$

Le *fonti effimere* sono fonti locali con portata media inferiore ad una soglia che, in questo caso, è posta pari a 15 l/s. Le *fonti locali* sono tutte quelle fonti che non confluiscono nello schema, ma riforniscono direttamente i comuni. Se una fonte è collegata a più comuni, per ogni comune si considera con una portata pari alla percentuale ad esso effettivamente destinata. La soglia di 15 l/s scaturisce da valutazioni effettuate sulle portate medie delle sorgenti "locali" considerate nel Nuovo Piano Regolatore Generale degli Acquedotti di Basilicata (1994).

- La molteplicità delle fonti locali, considerata tramite il parametro:

$$\mathbf{FONT} = 1 - \frac{\text{Media portata Fonti locali}}{\text{Somma portata Fonti locali}}$$

Questa grandezza viene considerata nel caso in cui il comune sia sganciato dallo schema e collegato solo a fonti locali.

- Il carico idraulico disponibile sul serbatoio di testata del comune. In questo caso, si è fatto riferimento alla differenza fra la quota dell'ultimo partitore a pelo libero e la quota del serbatoio di testata. Nel caso di centri serviti da più serbatoi, si fa riferimento al valor medio dei carichi disponibili. La variabile che tiene conto di questo fattore è:

$$\mathbf{CAR} = \frac{\frac{\text{consumo presunto}}{\sqrt{\text{pendenza}}}}{\max \left(\frac{\text{consumo presunto}}{\sqrt{\text{pendenza}}} \right) \text{tra i comuni considerati}}$$

Ove:

$$\text{pendenza} = \frac{\text{dislivello tra il serbatoio e il partitore principale}}{\text{distanza del serbatoio dal partitore principale}}$$

In Tab. 2 sono riportati sinteticamente i parametri considerati e le loro relazioni con i concetti di frequenza e severità di fallanza.

Tabella 2. Riepilogo dei parametri indicatori del livello di servizio.

VARIABILI GENERALI		PARAMETRI CARATTERISTICI
<p><i>Severità di fallanza</i> SEV</p>	∞	$\text{CONS} = \frac{\text{consumo presunto}}{\text{massimo consumo presunto nello schema}}$ $\text{PERC} = \frac{\text{Somma portata Fonti effimere}}{\text{consumo presunto}}$ $\text{FONT} = 1 - \frac{\text{Media portata Fonti locali}}{\text{Somma portata Fonti locali}}$ $\text{CAR} = \frac{\frac{\text{consumo presunto}}{\sqrt{\text{pendenza}}}}{\max\left(\frac{\text{consumo presunto}}{\sqrt{\text{pendenza}}}\right) \text{ tra i comuni considerati}}$
<p><i>Frequenza di fallanza</i> FRE</p>	∞	$\text{VOL} = 1 - \frac{\text{volume dei serbatoi}}{\text{dotazione volumetrica giornaliera}}$ $\text{DIST} = \frac{\text{lunghezza condotta dal partitore principale}}{\text{distanza massima nello schema}}$

3.3 Definizione dei livelli di servizio

I parametri precedentemente introdotti verranno usati per quantificare i livelli di servizio delle utenze attraverso gli indici SEV e FRE, ovviamente in misura inversamente porporzionale. Analogamente a quanto risulta per tutti i parametri prima definiti, le variabili SEV e FRE assumono valori compresi tra 0 e 1, anche per facilitare il confronto tra le due. In via di prima applicazione i parametri sono stati utilizzati tramite relazioni lineari con pesi uguali, dando luogo alle seguenti definizioni:

- 1) *Utenza collegata in parte o completamente a schema acquedottistico:*

$$\text{SEV} = \frac{\text{CONS} + \text{PERC} + \text{CAR}}{3} \quad (2)$$

$$\text{FRE} = \frac{\text{VOL} + \text{DIST}}{2} \quad (3)$$

- 2) *Utenza sganciata dallo schema e collegata a sole fonti locali:*

$$\text{SEV} = \frac{\text{PERC} + \text{FONT}}{2} \quad (4)$$

$$\text{FRE} = \text{VOL} \quad (5)$$

In questo caso i parametri CONS, DIST e CAR non sono significativi e non vengono considerati.

Per tener conto globalmente dei valori assunti da FRE e SEV se ne propone una media, che può essere assunta come indice di vulnerabilità "intrinseca" inversamente proporzionale al livello di servizio complessivo:

$$V = \frac{\text{SEV} + \text{FRE}}{2} \quad (6)$$

Anche in questo caso si è ritenuto di attribuire lo stesso peso a ciascuno degli indici considerati. Una diversa definizione dei pesi, anche per valutare FRE e SEV, può conseguire solo da applicazioni di metodi che risalgono al funzionamento idraulico dello schema.

E' bene precisare che l'indice globale appena definito serve essenzialmente a permettere un confronto tra i comuni che si riforniscono da uno stesso schema acquedottistico, rilevando quelli che, più di altri, saranno penalizzati in caso di carenza idrica o di riduzione di funzionalità in genere. Nel seguito verrà presentata un'applicazione delle procedure esposte ad un sistema di adduzione in esercizio nella provincia di Potenza.

4. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI SERVIZIO SU UN CASO DI STUDIO

4.1 Lo schema acquedottistico Basento-Camastra

Lo schema idrico del Basento, il più importante della regione Basilicata, nasce negli anni '30 con l'obiettivo di servire la città di Potenza e alcuni comuni limitrofi, approvvigionandosi dalle sorgenti di Fossa Cupa, San Michele e Linise, situate in agro di Sasso di Castalda. In seguito si rese necessario disporre di portate integrative, ottenute utilizzando, previo sollevamento, le fluenze di alcune sorgenti dell'alta Val D'Agri.

Negli anni '80 è stato collegato allo schema un invaso, posto sul torrente Camastra, che ha oggi una capacità di 22 Mm³. Anche in questo caso la portata è resa disponibile tramite sollevamento verso un impianto di potabilizzazione, il quale dispone di una vasca di grandi dimensioni che funge anche da capacità tampone per la parte del sistema acquedottistico ad essa collegato.

Attualmente l'Acquedotto del Basento è gestito dall'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese (EAAP) e serve 27 comuni della regione, con una popolazione totale di circa 150.000 abitanti. La sua rete si estende per quasi 400 Km coprendo una parte considerevole del territorio della Provincia di Potenza. Lo schema comprende 20 serbatoi e 6 impianti di sollevamento. I volumi medi annui disponibili ammontano a circa 31.8 Mm³ mentre quelli immessi sono pari circa 28 Mm³.

Come si può rilevare dal disegno schematico di Fig. 4, lo schema idraulico dell'acquedotto si presenta piuttosto articolato e costituito da due rami principali: il *Ramo Nord*, che alimenta i comuni di Cancellara, Oppido, Pietragalla, Acerenza, Genzano, Banzi, Forenza e Maschito; il *Ramo Sud*, che alimenta i comuni di Tolve, Brindisi di Montagna, Trivigno, Albano, S. Chirico Nuovo, Campomaggiore, Castelmezzano, Pietrapertosa, Tricarico e Irsina.

La suddivisione tra ramo nord e sud si realizza dal partitore a pelo libero di piano la Giova, nel quale arriva anche l'acqua dall'impianto di potabilizzazione del Camastra. Per quanto riguarda le sorgenti, quelle dell'alta val d'Agri vengono riunite nel bottino di Ginestrole e da qui sollevate al serbatoio di Monti. A questo serbatoio confluiscono a gravità anche le acque di S. Michele e di Linise. Dal bottino di Linise l'acqua viene convogliata, sempre a gravità, verso alcuni serbatoi che alimentano la città di Potenza, e verso il bottino di Cergarone, ove confluisce anche l'acqua proveniente dalle sorgenti di Fossa Cupa. Dal bottino di Cergarone parte una condotta verso il partitore di Serra di Vaglio e poi verso il Comune di Avigliano, dalla quale si dipartono anche le varie diramazioni per Tito, per Pignola e per Rifreddo.

4.2 Applicazione e Commento dei risultati

Con riferimento allo schema acquedottistico Basento-Camastra si è effettuata un'applicazione dei concetti espressi nella sezione precedente. I dati necessari al calcolo dei parametri sono stati direttamente ricavati dal database descritto nella sezione 2 e sono riportati nelle tabb. 3 e 4, con riferimento a 24 comuni dello schema. Si sono omessi dall'elenco i comuni di Brienza, Marsico Nuovo e Sasso di Castalda in quanto presentano i massimi livelli di affidabilità che possono risultare dal criterio proposto, essendo direttamente connessi alle sorgenti principali dello schema.

Delle caratteristiche indicate in Tab. 3, quelle relative alla lunghezza della condotta ed al dislivello sono risultate determinabili attraverso la procedura di chiusura transitiva menzionata nella sezione 2, mentre tutte le altre risultano essere degli attributi dei nodi.

In Tab. 4 sono invece riportati i valori dei parametri in base ai quali è calcolato l'indice di vulnerabilità intrinseca. Le figure 5-9 consentono di valutare visivamente la distribuzione dei suddetti parametri tra i diversi comuni.

L'esame di queste figure consente di notare immediatamente alcune peculiarità dello schema idrico considerato, a partire da quella preminente che è la presenza di un centro abitato di dimensioni molto maggiori rispetto agli altri. Le figure relative ai parametri CONS e CAR, direttamente connessi alla dotazione idrica, mostrano infatti che Potenza fornisce il valore di riferimento, mentre gli altri comuni presentano valori di un ordine di grandezza più piccoli. Considerando solo questi due parametri si avrebbe l'impressione che Potenza debba essere considerata al di fuori del contesto dei comuni serviti, in quanto appartenente ad una categoria diversa di utenza. I risultati ottenuti sugli altri parametri ed il conseguente indice di vulnerabilità mostrano invece che le differenze tra Potenza e gli altri comuni si attenuano considerando l'effetto tampone dei volumi dei serbatoi e la configurazione geografica dello schema.

La fig. 7, relativa al parametro PERC, mostra il valore di questo parametro relativamente ai soli tre comuni che presentano sia il collegamento a fonti locali che alle fonti primarie dello schema.

Le figg. 10 e 11 mostrano l'andamento degli indici di severità e di frequenza con riferimento ai diversi comuni. Si può notare che la variabile SEV mantiene valori molto bassi per la gran parte delle utenze ed assume dei valori rilevanti, oltre che per la città di Potenza, solo per tre comuni che presentano un collegamento a fonti locali (Avigliano, Tito e Ruoti) i quali, come detto, presentano un parametro PERC diverso da zero.

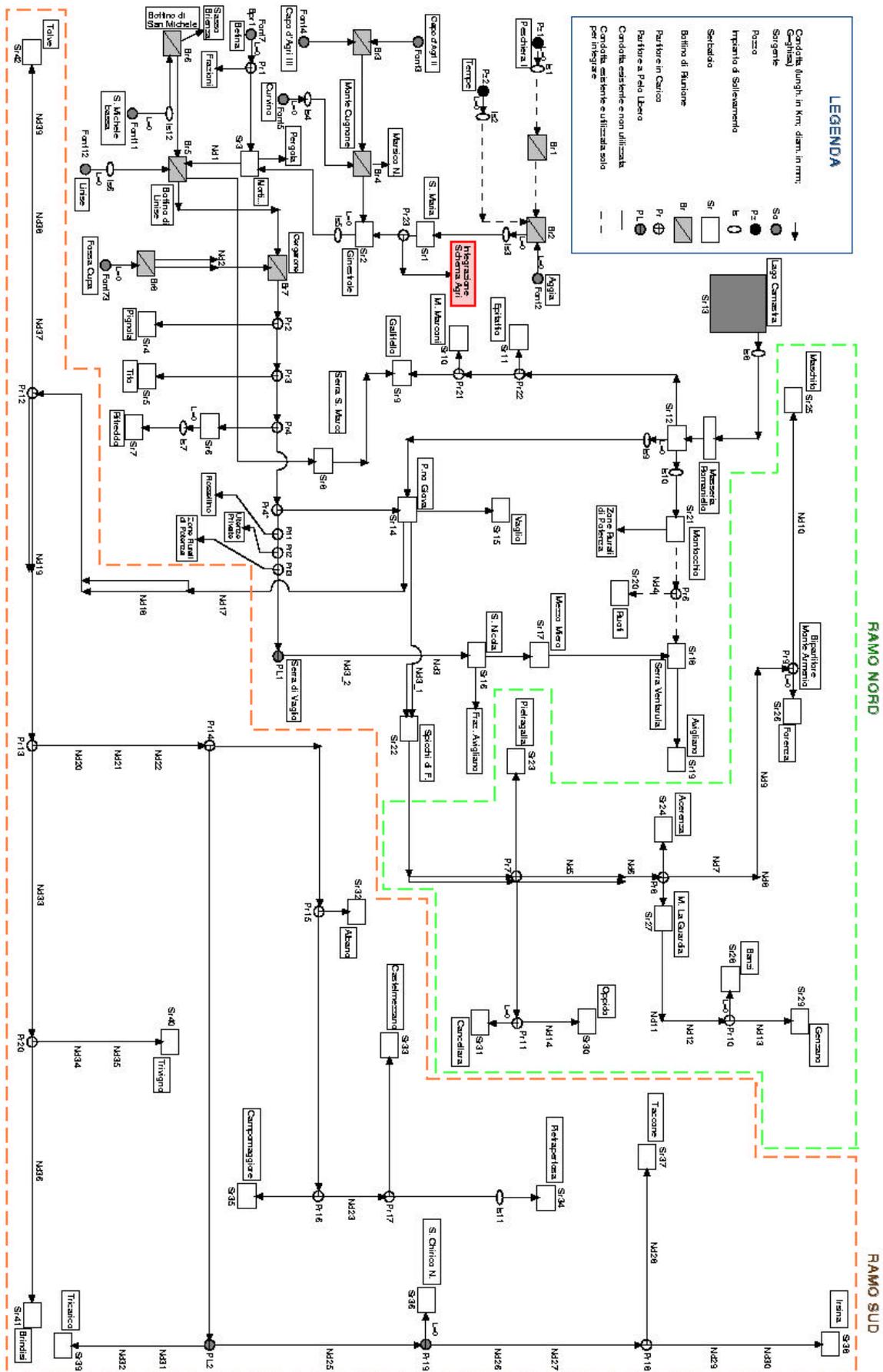


Figura 4. Rappresentazione codificata dello schema di adduzione Basento-Camastra

La variabile FRE mostra, invece, un andamento regolare e crescente passando dai comuni che sono relativamente vicini al partitore principale, e che dispongono di una buona riserva di risorsa idrica prima della distribuzione interna, a quelli più periferici e con volumi dei serbatoi piccoli rispetto alla dotazione volumetrica giornaliera

Infine il grafico di Fig. 12, relativo alla vulnerabilità intrinseca V, mostra che Potenza è ancora l'utenza più vulnerabile ma con un fattore di penalizzazione abbastanza ragionevole rispetto agli altri comuni. In questo tipo di valutazioni si è infatti evitato di penalizzare troppo le utenze in base alla dimensione demografica. D'altro canto, sembra anche evidente che, rispetto a considerazioni relative alla disponibilità della risorsa idropotabile, il centro abitato di Potenza risulti più vulnerabile degli altri.

Passando a considerare la classifica dei comuni più vulnerabili eccettuato Potenza, si può notare come, pur ragionando su valori di FRE più elevati rispetto a SEV, quest'ultimo parametro riesca comunque a far sentire il suo peso, movimentando la classifica di FRE che si poteva immaginare conservata intatta in V. Laddove c'è una minore uniformità di FRE, cioè negli 8 comuni meno vulnerabili, la stessa sequenza ordinata si ritrova nel parametro di vulnerabilità, mentre il valore di SEV risulta più significativo nello spostare posizioni di utenze aventi all'incirca lo stesso valore di FRE.

5. CONCLUSIONI

In questo lavoro si presenta una proposta di organizzazione di una base di dati relativa ad uno schema acquedottistico di adduzione, finalizzata ad elaborare le informazioni strutturali dello schema per avere indicazioni di massima sulla configurazione funzionale delle utenze.

Nella costruzione della base di dati, le cui entità non sono georeferenziate, si è operato in modo da conservare le connessioni fra gli elementi dello schema realizzando una rappresentazione semplice, perché solo alfanumerica, ma efficace anche ai fini di elaborazioni di carattere tecnico.

Si è inteso qui fornire una chiave di lettura preliminare, il più possibile oggettiva, alle valutazioni sui livelli di servizio attribuibili a ciascuna utenza, per cui sono stati considerati solo gli aspetti macroscopici che caratterizzano i centri serviti dallo schema di adduzione.

BIBLIOGRAFIA

- Aquaware system, 73 Glenferness Ave. Bournemouth, UK.
- Billinton R., R. N. Allan, *Reliability evaluation of engineering system: concept and technique*. Plenum, New York, 1987.
- Chen P. P., The entity-relationship model-towards a unified view of data, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, vol. 1, n.1, 9-36, March 1976.
- Codd E.F., A relational model for large shared databanks, *Communications of the ACM*, 13 (6) 377-387, 1970.
- Haestad Methods, 37 Brookside Rd., Waterbury, CT., USA.
- Martini P., L'Affidabilità dei sistemi di approvvigionamento idrico. *Idrotecnica* N. 3, 121-135, 1987.
- Regione Basilicata, *Nuovo Piano Regolatore Generale degli Acquedotti in Basilicata*, n.18 del Bollettino Ufficiale del 5 Aprile 1994. 8 Febbraio 1994.
- Water Supply & Water resources division, *National risk management research lab.*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA.

Indicazioni di questo tipo possono essere utili laddove si vogliano confrontare a livello esplorativo i livelli di servizio forniti da diversi enti acquedottistici operanti in un ambito territoriale, soprattutto quando la disomogeneità o la mancata disponibilità di dati strutturali rendono onerosa o non efficace l'applicazione di metodologie più rigorose. A queste ultime, alle quali va correttamente fatto riferimento per avere informazioni sulla reale affidabilità meccanica di uno schema, la base di dati qui concepita può comunque essere di grande aiuto, quanto meno come punto di partenza per l'organizzazione, l'inserimento e la prima analisi dei dati, in vista della successiva utilizzazione di software dedicati, quali quelli citati in introduzione.

Ad ogni modo, volendo ampliare la rappresentatività della schematizzazione qui adottata è necessario un duplice approfondimento, legato alla presenza ed alla funzionalità degli impianti di pompaggio. Da un lato questi determinano fonti aggiuntive che vanno in qualche modo pesate rispetto alla "stabilità" della fornitura che determinano. Dall'altro, i pompaggi inducono una variabilità nelle condizioni di funzionamento dello schema, qui considerato in modo statico, cioè a regime unico. E' utile, inoltre, estendere la procedura ai casi in cui diverse utenze siano collegate da un anello, ed a quelli in cui esistano differenti opzioni di distribuzione tra serbatoi che servano una stessa utenza. La considerazione di questi fattori, insieme alla valutazione di aspetti più strettamente idraulici, rappresenta il campo di naturale espansione dello schema metodologico qui introdotto.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito della convenzione "Progetto pilota di previsione e prevenzione del rischio di deficienza idrica nella Provincia di Potenza" tra l'Università della Basilicata e l'Amm. Provinciale di Potenza, sotto la responsabilità di M. Fiorentino. A quest'ultimo ed a R. Viparelli vanno i nostri ringraziamenti per i loro suggerimenti. Un sentito grazie va ai tecnici dell'EAAP per la collaborazione prestata nella fase di costruzione del caso di studio. Giulia Festino ha collaborato nelle fasi operative di implementazione del DBMS.

Tabella 3. *Caratteristiche principali delle utenze dello schema Basento-Camastra.*

Comune	Lunghezza condotta dal partitore principale (m)	Dislivello dal partitore principale (m)	Consumo presunto (l/s)	Volume serbatoi (m³)	Pendenza (m/m)
Acerenza	17630	184	23	500	0.01043
Albano di L.	17710	131	11	1000	0.00739
Avigliano	18920	160	81	3550	0.0084
Banzi	27810	452	9	150	0.01625
Brindisi di M.	14240	186	9	430	0.01306
Campomaggiore	22820	207	10	370	0.00907
Cancellara	10920	300	10	350	0.02747
Castelmezzano	27790	189	10	150	0.00680
Forenza	28030	179	18	450	0.00638
Genzano di L.	30310	430	58	1800	0.01418
Irsina	40750	451	85	3100	0.01106
Maschito	33370	350	12	178	0.01048
Oppido Lucano	17170	277	19	1050	0.01613
Pietragalla	9930	193	31	650	0.01943
Pietrapertosa	28750	58	11	380	0.00201
Pignola	5650	108	23	1180	0.0191
Potenza	6250	199	1145	55540	0.0318
Ruoti	16510	310	22	490	0.0187
S. Chirico N.	22640	257	10	175	0.01135
Tito	8640	201	100	525	0.0232
Tolve	12630	475	24	546	0.03760
Tricarico	25050	281	68	960	0.01121
Trivigno	15870	248	6	500	0.01562
Vaglio di B.	2950	39	17	500	0.01322

Tabella 4. *Parametri di riferimento ed indici di vulnerabilità per i comuni dello schema.*

Comune	CONS	VOL	DIST	CAR	PERC	SEV	FRE	V
Acerenza	0.020	0.748	0.432	0.035	0	0.018	0.590	0.30
Albano di L.	0.009	0	0.434	0.019	0	0.009	0.217	0.11
Avigliano	0.070	0.492	0.464	0.137	0.111	0.106	0.478	0.29
Banzi	0.007	0.807	0.682	0.011	0	0.006	0.744	0.37
Brindisi di M.	0.007	0.447	0.349	0.012	0	0.006	0.398	0.20
Campomaggiore	0.008	0.571	0.560	0.016	0	0.008	0.565	0.28
Cancellara	0.008	0.594	0.267	0.009	0	0.006	0.434	0.21
Castelmezzano	0.008	0.826	0.681	0.018	0	0.009	0.754	0.38
Forenza	0.015	0.710	0.687	0.035	0	0.016	0.699	0.35
Genzano di L.	0.050	0.640	0.743	0.075	0	0.042	0.692	0.36
Irsina	0.074	0.577	1	0.125	0	0.066	0.788	0.42
Maschito	0.010	0.828	0.818	0.018	0	0.009	0.823	0.41
Oppido Lucano	0.016	0.360	0.421	0.023	0	0.013	0.390	0.20
Pietragalla	0.027	0.757	0.243	0.034	0	0.020	0.500	0.26
Pietrapertosa	0.009	0.600	0.705	0.038	0	0.015	0.652	0.33
Pignola	0.020	0.402	0.138	0.025	0	0.015	0.272	0.14
Potenza	1	0.438	0.153	1	0	0.666	0.295	0.48
Ruoti	0.019	0.742	0.405	0.025	0.363	0.135	0.573	0.35
S. Chirico N.	0.008	0.797	0.555	0.014	0	0.007	0.676	0.34
Tito	0.087	0.939	0.212	0.102	0.130	0.106	0.575	0.34
Tolve	0.020	0.736	0.309	0.019	0	0.013	0.523	0.26
Tricarico	0.059	0.836	0.614	0.100	0	0.053	0.725	0.38
Trivigno	0.005	0.035	0.389	0.007	0	0.004	0.212	0.10
Vaglio di B.	0.014	0.659	0.072	0.023	0	0.012	0.036	0.18

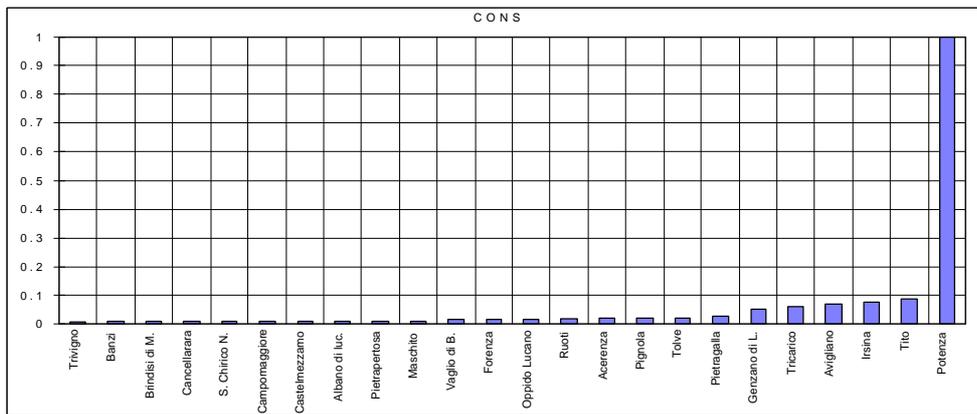


Figura 5. Distribuzione del parametro CONS tra i comuni dello schema.

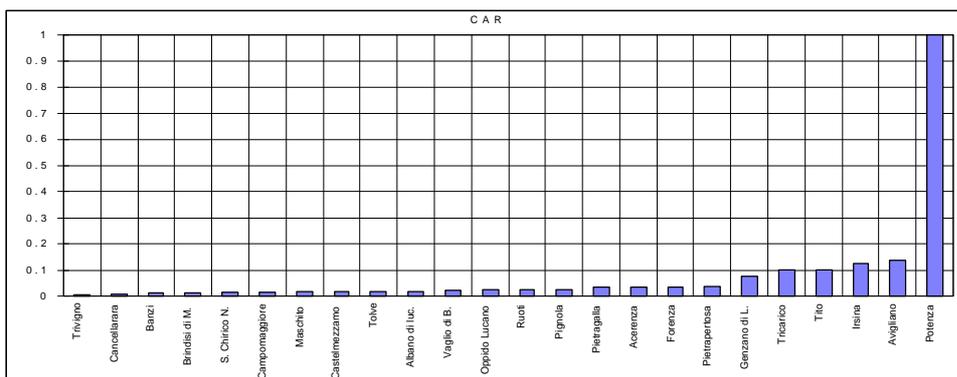


Figura 6. Distribuzione del parametro CAR tra i comuni dello schema.

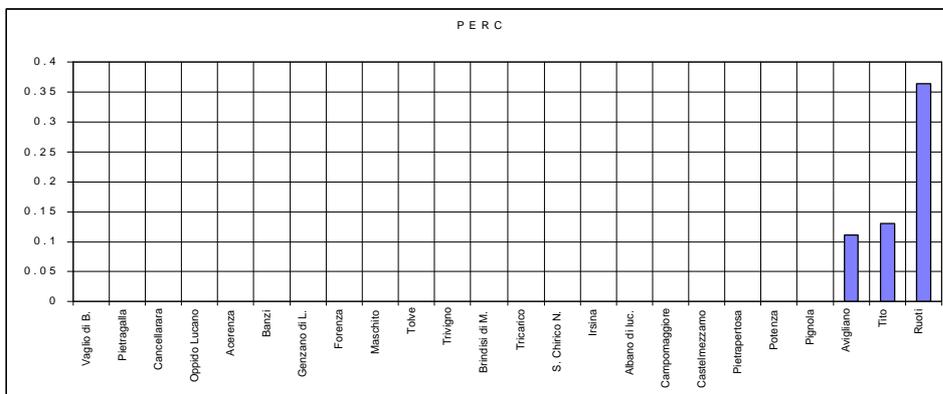


Figura 7. Distribuzione del parametro PERC tra i comuni dello schema.

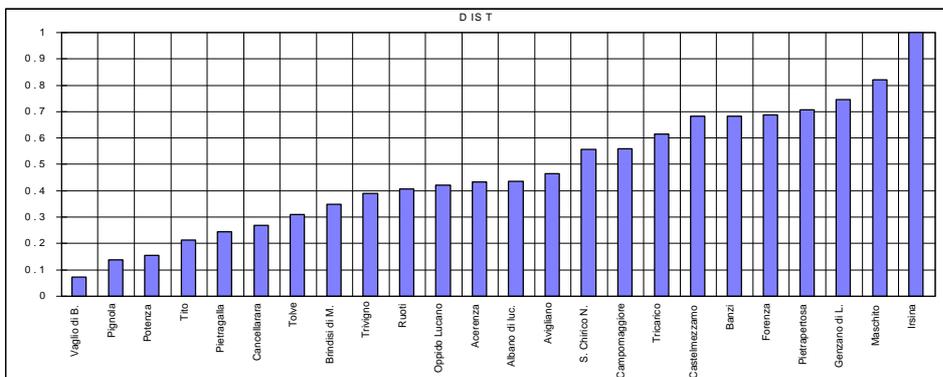


Figura 8. Distribuzione del parametro DIST tra i comuni dello schema.

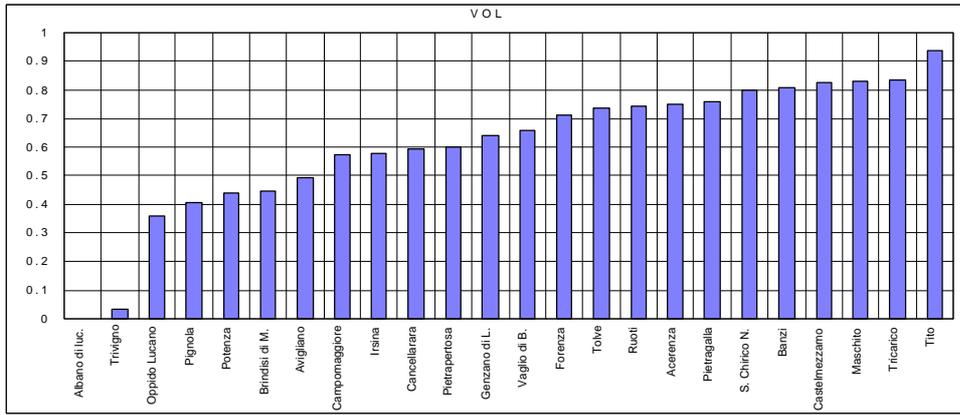


Figura 9. Distribuzione del parametro VOL tra i comuni dello schema.

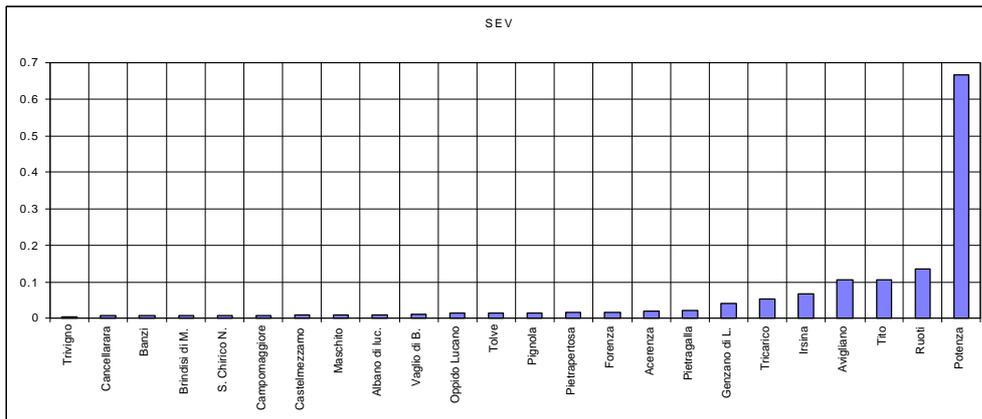


Figura 10. Distribuzione della variabile SEV tra i comuni dello schema.

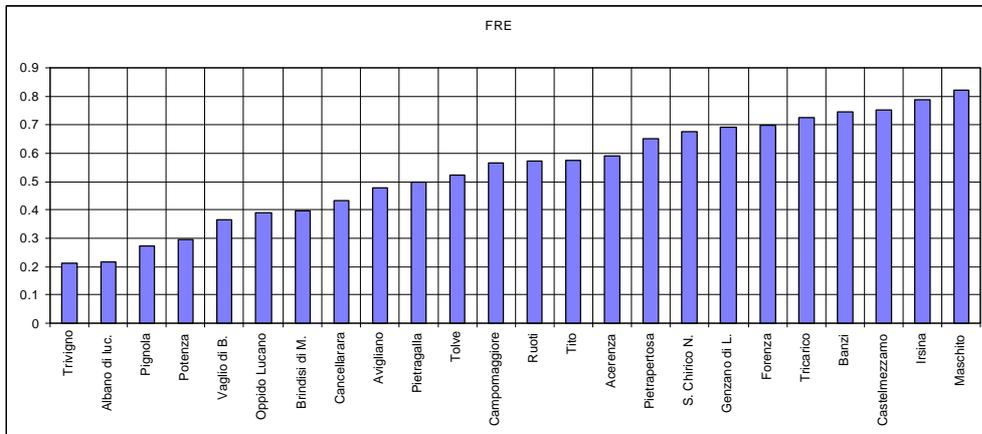


Figura 11. Distribuzione della variabile FRE tra i comuni dello schema.

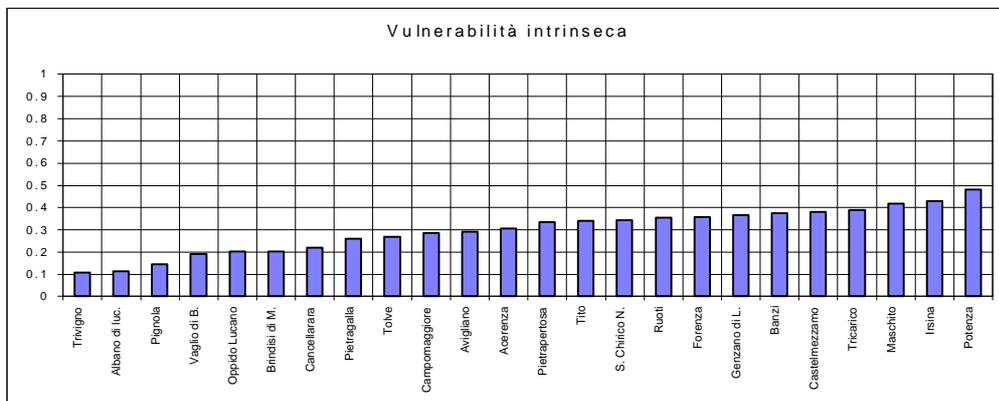


Figura 12. Distribuzione dell'indice di vulnerabilità "intrinseca" tra i comuni dello schema.