



LIFE06/ENV/IT/255

**A.S.A.P.****Actions for Systemic Aquifer Protection**

The ASAP project is partially funded by the European Union  
LIFE Programme

## Modello idraulico - Rapporto tecnico

*ASAP - Actions for Systemic Aquifer Protection -  
Implementation and demonstration of a Protocol to scale  
down groundwater vulnerability to pollution due to  
overexploitation - Task 4*

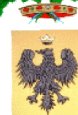
**(Rev. 0b)**

Type of document:	Rapporto tecnico
Deliverable n°:	D4.3
Author(s):	Acque Ingegneria
URI:	<a href="http://www.klink.it/gate/asap/area-di-lavoro/executing/3-06_products/t4-setframe/t4-3-fine-tuning-of-the-system/">http://www.klink.it/gate/asap/area-di-lavoro/executing/3-06_products/t4-setframe/t4-3-fine-tuning-of-the-system/</a>

<http://www.klink.it/nata/asap>  
ACQUE SpA Servizi idrici



Provincia di Pisa



# Confidential

Distribution allowed to the ASAP Project Participants  
and the European Commission

## (i) Ringraziamenti

Questo report è il risultato del lavoro del Team del Progetto ASAP.

Ringraziamo Acque Spa che ha supportato il lavoro e contribuito alla creazione del documento finale.

Grazie infine a tutti coloro che hanno offerto il loro sostegno nel difficile compito di analizzare ogni questione e con pazienza ne hanno discusso per le connessioni delle loro attività col progetto ASAP

Un grazie particolare a Franca Sussarellu per la sua assistenza nella fase di editing.

*Ing. Oberdan Cei*  
*(o.cei@acqueingegneria.net)*  
*Project manager*

## (ii) Sommario

1 ==> Premessa.....	4
1.1 Obiettivo.....	4
1.2 Esecuzione e Responsabilità.....	4
2 ==> Introduzione.....	5
3 ==> Acquisizione rete.....	6
4 ==> Distrettualizzazione o zonizzazione.....	7
5 ==> Assegnazione quote nodi.....	8
6 ==> Assegnazione della domanda .....	9
7 ==> Definizione del pattern di domanda.....	11
8 ==> Analisi .....	13
9 ==> Simulazione delle perdite in una rete acuedottistica .....	14
10 ==> Taratura modello.....	18
11 ==> Validazione del modello.....	19

## (iii) Scopo del documento

L'obiettivo di questo report è di descrivere il Modello idraulico sotteso al Progetto ASAP.

## (iv) Avvertenze

1. Controllate sempre la versione più recente sul portale di progetto di ASAP all'indirizzo che trovate nella prima pagina di copertina.

## 1 ==> PREMESSA

Questo rapporto è uno dei deliverable previsti dal Progetto ASAP incentrato sull'acquifero di Bientina (Pisa, IT).

In particolare il documento è in relazione alla *Task 4.- Messa a punto del quadro operativo per l'ottimizzazione del prelievo– Attività T4.3 – Costante calibrazione di precisione del sistema (fine tuning)*

La task si pone infatti l'obiettivo di procedere ad una calibrazione ottimale del sistema delle pressioni.

### 1.1 OBIETTIVO

L'obiettivo di questo report è di descrivere il Modello idraulico sotteso al Progetto ASAP.

### 1.2 ESECUZIONE E RESPONSABILITÀ

Acque Ingegneria (ACQING) è responsabile della stesura del report e dell'analisi.

## 1 ==> INTRODUZIONE

I modelli di simulazione rappresentano un fondamentale strumento sia per la corretta progettazione degli elementi caratteristici della rete, quali tubazioni, serbatoi, impianti di sollevamento ecc. sia per la gestione ottimale della stessa, consentendo di valutare il comportamento del sistema in differenti situazioni, di determinare le condizioni di funzionamento nei rami non dotati di strumentazione di telecontrollo e di evidenziare al contempo le aree critiche caratterizzate da forti pressioni e le aree di sofferenza caratterizzate invece da bassa pressione.

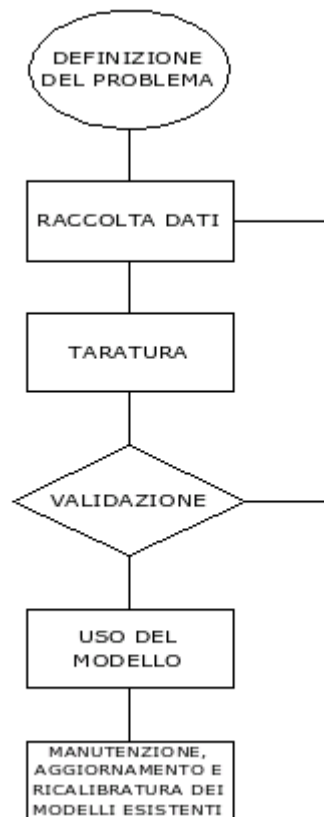


Fig. 1.1: Flusso della modellizzazione

Lo sviluppo del modello matematico comporta una sequenza di attività che partono dal rilievo ed acquisizione della rete attraverso l'utilizzo di supporti informatici GIS e proseguite poi con le fasi di elaborazione, modellazione e restituzione informatica. Il livello di dettaglio da raggiungere in ciascuna delle precedenti fasi e quindi l'errore finale intrinseco del modello è strettamente legato all'utilizzo per il quale si costruisce lo stesso.

Gli errori caratteristici di un modello matematico riguardano la schematizzazione geometrica della rete (diametri, quote degli elementi, schemi degli impianti etc.), la definizione dei parametri idraulici (scabrezza), il funzionamento dei meccanismi di controllo ed infine la definizione e la georeferenziazione delle utenze.

## 2 ==> ACQUISIZIONE RETE

L'acquisizione della rete è preceduta dall'individuazione, dalla georeferenziazione e dalla caratterizzazione del funzionamento di tutti quegli elementi che costituiscono una disconnessione idraulica (serbatoi, impianti di sollevamento, impianti di trattamento, etc.) o che comunque rappresentano i punti di ingresso della portata nel sistema quali pozzi o valvole di regolazione.

La corretta conoscenza della rete ed in particolare modo della rete di distribuzione primaria, è di fondamentale importanza per il successivo sviluppo ed interpretazione del modello; pertanto la semplice acquisizione in formato shape file della cartografia dal SIT, deve essere accompagnata da una conoscenza diretta sul campo.

La rete viene rappresentata mediante una successione di archi e nodi in modo tale che ogni arco inizia e finisce in un nodo ed è caratterizzato da un insieme di attributi geometrici ed idraulici quali tipologia, lunghezza, diametro nominale (DN), diametro interno (Di), materiale di cui è composto il singolo tratto e la scabrezza che in questa prima fase viene assegnata univocamente in funzione del materiale senza tenere in considerazione ne l'età della condotta ne la qualità dell'acqua in essa circolante.

Solo successivamente, durante la calibrazione andremo ad effettuare una analisi più specifica sui singoli tratti in funzione dell'output fornito dal modello e dei dati di portata e pressione raccolti.

Utilizzando la formula di Hazen-Williams per le perdite di carico distribuite, i valori di scabrezza utilizzata sono:

$$J = \frac{10.675 Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.8704}}$$

- 105 per tubi calcestruzzo
- 110 per tubi acciaio
- 135 per tubi ghisa rivestita
- 145 per tubi rame, inox
- 145 per tubi PE, PVC e PRFV

L'elaborazione successiva, effettuata con l'utilizzo di un programma GIS (Arcview 3.2), comporta l'individuazione e la correzione dei tratti isolati della rete che non consentirebbero la chiusura dell'algoritmo di calcolo, l'unificazione dei tratti in serie di ugual diametro e scabrezza e la "scheletrizzazione" della rete sostituendo i tratti terminali aventi un diametro inferiore ai 32mm con nodi in cui concentrare opportunamente la domanda.

Si distingue infine tra rete di distribuzione e adduzione in modo da facilitare l'aggregazione dell'utenza e quindi della domanda ai soli tratti di distribuzione.

### **3 ==> DISTRETTUALIZZAZIONE O ZONIZZAZIONE**

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione delle risorse idriche e gestione delle reti acquedottistiche, la distrettualizzazione è uno tra i metodi consigliati in letteratura tecnica ed in normativa nazionale, (legge Galli del 05/01/94 n.36 e successivo regolamento definito con il Decreto del ministero Lavori Pubblici del 08.01.1997 n.99), per la riduzione delle perdite ed il recupero dell'acqua non fatturata attraverso la regolazione della pressione e la ricerca/riparazione delle perdite occulte.

Con questo metodo si suddivide la rete idrica in più distretti tra loro idraulicamente separabili e caratterizzati ciascuno da uno o più punti di alimentazione telecontrollati o comunque misurabili.

Nel modello idraulico ogni distretto viene caratterizzato da specifiche curve di consumo.

In tal modo la simulazione idraulica consente di valutare gli effetti sul livello di servizio di interventi volti alla regolazione modulata della pressione e di stimare il recupero di volume d'acqua non fatturato sul singolo distretto attraverso specifiche analisi.

## 4 ==> ASSEGNAZIONE QUOTE NODI

Il successivo passaggio nella creazione del modello idraulico è l'assegnazione della quota ai nodi della rete.

Partendo da un modello digitale del terreno (DTM: digital terrain model), mediante una procedura di proiezione si attribuisce automaticamente la quota  $z$  agli elementi puntuali.

Il DTM può essere ottenuto interpolando con vari metodi (TIN, Kriging, Veronoi etc.) i dati puntuali di quota o le curve di livello.

La corretta assegnazione della quota è fondamentale per ottenere valori della pressione nei nodi attinenti al reale; è pertanto indispensabile avere a disposizione un rilievo del terreno sufficientemente accurato in scala 1:2000.

## 5 ==> ASSEGNAZIONE DELLA DOMANDA

La stima della domanda da assegnare ad un nodo del modello può essere basata su vari metodi.

Nel protocollo ASAP facciamo riferimento a due distinti indicatori: la superficie in pianta dell'edificio e il fatturato annuo di ogni utenza. Il primo dato è di facile reperibilità dalla cartografia tecnica regionale ed il secondo è di provenienza aziendale.

Con il primo metodo si fa coincidere il singolo utente con il baricentro georeferenziato dell'edificio e la domanda da associare viene presa proporzionalmente alla superficie in pianta del fabbricato. Si rende pertanto necessario distinguere almeno due tipologie di utenza, quella civile e quella industriale a cui associare quote diverse della domanda complessiva della rete in funzione di considerazioni socio-economiche sul tessuto produttivo delle zona.

Questa metodologia si basa sull'ipotesi che gli edifici civili abbiano altezze tra loro paragonabili e quelli industriali abbiano una destinazione d'uso omogenea su tutto il territorio. Ovviamente tale ipotesi viene meno se siamo in possesso della volumetria del singolo edificio civile o della destinazione d'uso di quello industriale.

Definita con  $Q_{tot}$  (L/s) la portata media nel giorno oggetto della simulazione, ottenibile mediante bilanci idrici sui singoli distretti, e con  $A_{tot}$  (mq) la superficie complessiva degli edifici serviti abbiamo:

$$Q_{tot} = Q_{civile} + Q_{industriale}$$

$$A_{tot} = A_{civile} + A_{industriale}$$

Il valore da assegnare a  $Q_{civ}$  e  $Q_{ind}$  è funzione dello strato socio-economico del territorio servito dall'acquedotto oggetto della simulazione. In genere si pone  $Q_{ind}=20\%Q_{tot}$ .

La domanda base da associare al singolo centroide in funzione della tipologia è quindi:

$$q_{i\text{ civile}} = \frac{a_{i\text{ civile}}}{A_{civile}} Q_{civile} \text{ per le utenze civili}$$

$$q_{i\text{ industriale}} = \frac{a_{i\text{ industriale}}}{A_{industriale}} Q_{industriale} \text{ per le utenze industriali}$$

In tal modo:

$$\sum_i q_{i\text{ industriale}} + \sum_i q_{i\text{ civile}} = Q_{tot}$$

Per applicare il secondo metodo è necessario avere a disposizione oltre alle utenze georeferenziate, coincidenti con i contatori delle unità immobiliari, la banca dati dei consumi fatturati e l'intervallo tra due misure successive.

Per il calcolo si procede come nel caso precedente considerando come peso non più l'area dell'edificio ma il consumo medio giornaliero della singola utenza ricavabile confrontando due misure successive:

$\Delta V_i = V_i(t_2) - V_i(t_1)$  consumo fatturato della generica utenza tra due istanti successivi di lettura

$$q_{m_i} = \frac{V_i(t_2) - V_i(t_1)}{\Delta T}, \text{ consumo medio giornaliero utenza } i\text{-esima nel periodo}$$

$$DT = t_2 - t_1$$

Poiché il valore medio trovato del consumo viene utilizzato come peso nel calcolo della domanda base da assegnare alla generica utenza, è necessario che il periodo di riferimento DT della lettura sia lo stesso per tutti i contatori. Se questa condizione come spesso accade non è verificata, si deve uniformare il dato  $q_{m_i}$  riportandolo al valore medio annuo.

$Q_m = \sum_i q_{m_i}$  consumo medio giornaliero complessivo delle utenze servite ed attive al momento della simulazione.

La domanda base che viene associata alla generica utenza è:

$$q_i = \frac{q_{m_i}}{Q_m} Q_g \text{ dove } Q_g \text{ è il consumo medio della rete nel giorno di}$$

simulazione.

Questo metodo rispetto al precedente, non imponendo ipotesi di base non sempre verificate ma basandosi solamente su dati misurati, consente una migliore e più precisa attribuzione della domanda base.

La procedura di assegnazione della domanda base ai nodi della rete modellata è di fondamentale importanza, in quanto un'erronea aggregazione spaziale dell'utenza può generare nel modello una distribuzioni delle portate non conformi al reale e quindi livelli di servizio simulati non attendibili.

Attraverso l'utilizzo della funzione di geoprocessing del GIS, si associano ai nodi della rete secondo un criterio di vicinanza tutte quelle utenze poste ad una distanza inferiore a 250-300 m dal nodo più vicino.

È evidente che considerando i centroidi degli edifici si possono commettere errori grossolani sia nell'associazione spaziale, in quanto la condotta di distribuzione più vicina al centroide non è detto che corrisponda a quella a cui l'utenza è realmente collegata, sia nell'ipotizzare che ad ognuno di essi corrisponda un'unica utenza. Entrambi i problemi al contrario non si pongono considerando le utenze/contatori georeferenziate.

In questa prima fase della modellazione si ipotizza di non distinguere tra la domanda fatturata e le fughe non contabilizzate. Ripartendo uniformemente le perdite sull'intera rete acquedottistica si uguaglia la quantità di risorsa idrica immessa nel sistema con quella complessiva erogata in corrispondenza dei singoli contatori. Questa ipotesi risulta fondamentale per assicurare che i risultati forniti dalla simulazione siano confrontabili direttamente con i dati sperimentali di portata e pressione ricavati dalla campagna di misura.

## 6 ==> DEFINIZIONE DEL PATTERN DI DOMANDA

Il consumo idrico di un distretto in cui compaiono diverse tipologie di utenza, è il risultato della sovrapposizione temporale delle curve di consumo delle singole utenze. Infatti, nell'ipotesi che la domanda sia pienamente soddisfatta, il consumo dipende da diversi fattori:

1. Il tipo di utenza: domestica, commerciale, industriale, servizi
2. Livello socioeconomico
3. Mese dell'anno
4. Giorno e l'ora monitorati

Se consideriamo un intervallo temporale di una settimana, i giorni tipicamente lavorativi dal lunedì al sabato presentano un andamento caratteristico sovrapponibile, mentre la domenica la curva di consumo è traslata in avanti di un'ora.

Nella modellazione si fa riferimento al sabato in quanto si hanno i valori massimi nei consumi istantanei.

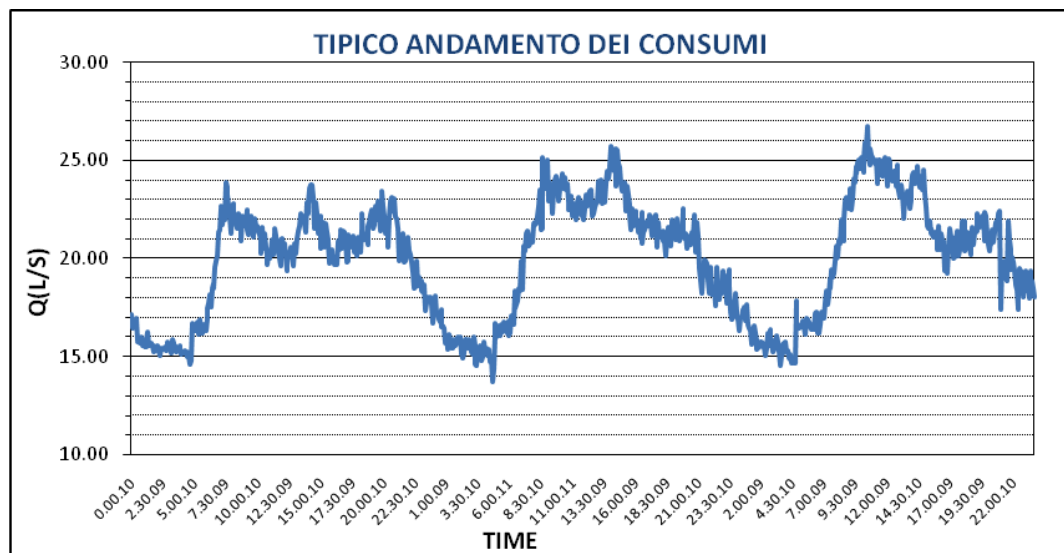


Fig. 6.1: Tipico andamento dei consumi

In genere, l'utenza civile è caratterizzata da una curva di consumo che presenta un punto di minimo durante le ore notturne, un incremento nelle prime ore del giorno e tre punti di massimo in corrispondenza delle ore diurne. Invece l'andamento temporale della domanda industriale e dei servizi in genere, dipende dal tipo di utenza.

Il metodo per la costruzione di un pattern da utilizzare nel modello idraulico è legata al tipo di informazioni in nostro possesso.

Potendo monitorare la richiesta idrica di un numero di utenze rappresentativo di ciascuna tipologia è possibile costruire l'andamento normalizzato dei consumi per quello specifico tipo di utenza secondo un parametro che la caratterizza. Nota pertanto la destinazione d'uso del singolo edificio/centroide o dell'utenza/contatore, si assegna il pattern di domanda relativo.

In alternativa, partendo dai dati di portata misurata in ingresso in ogni settore, si determina su un arco temporale in genere di 24 ore, il pattern di

consumo normalizzato, mediato sull'ora o su 5-10 minuti in funzione dell'intervallo di registrazione dei dati e della sensibilità degli strumenti. In questo caso non potendo distinguere tra le diverse tipologie di utenza si costruisce un solo pattern di domanda commettendo evidentemente un errore per le utenze industriale che in genere non sono attive nelle ore notturne.

L'utilizzo del pattern orario pur semplificando la procedura di calcolo determina l'annullamento dei valori massimi istantanei nella domanda rendendo poco attendibile la simulazione per particolari scenari di verifica.

Nella simulazione è opportuno considerare giorni di massimo consumo in modo da porsi nelle condizioni più sfavorevoli dal punto di vista idraulico e del livello di servizio raggiungibile in rete.

## 1 ==> ANALISI

Il codice di calcolo adoperato nell'analisi è EPANET versione 2.0 (Rossman, 2000) sviluppato dall'"EPA U.S. Environmental Protection Agency".

EPANET è un simulatore idraulico e di qualità delle acque per lo studio di reti in pressione.

Il codice simula la presenza di organi idraulici quali pompe, valvole, serbatoi, riduttori di pressione e consente di mappare l'evoluzione delle principali variabili in ogni nodo o ramo della rete.

L'utilizzo di questo software permette di eseguire un'analisi di tipo convenzionale oppure attraverso un opportuno utilizzo della funzionalità "emitters" di legare la portata in uscita dal nodo alla pressione.

L'analisi convenzionale o DDA (Driven Demand Analysis) ipotizza che il carico piezometrico nel nodo (incognita del problema) sia sufficientemente elevato in modo da far coincidere la portata erogata con la richiesta dell'utenza (dato del problema).

Il risultato di questo tipo di analisi è attendibile solamente se per ogni nodo della rete tale condizione viene rispettata. Al contrario, in presenza di nodi critici in cui il carico piezometrico risultasse inferiore a quello richiesto, la simulazione non sarebbe da considerarsi corretta in quanto la domanda dell'utenza sarebbe comunque soddisfatta anche a pressione negativa e le portate circolanti in rete non risulterebbero compatibili con i carichi e quindi con la fisica del sistema.

Se la simulazione eseguita con la metodologia DDA non risulta adeguata è necessario mettere in relazione la portata erogata dal generico nodo con il carico esistente in rete.

Un Tale tipo di approccio è indicato in letteratura con la sigla PDA (Pressure-Driven-Analysis). In aggiunta alle usuali equazioni del moto e di continuità, in ciascun nodo in cui non è verificata la condizione necessaria per eseguire l'analisi DDA si introduce l'ulteriore condizione:

$$Q_i = f(H_i) = C H_i^a$$

Dove:

$Q_i$  = portata erogata

$a$  = esponente che da indicazioni presenti in letteratura tecnica, può essere assunto pari a 0,5

$C$  = coefficiente di efflusso

Nei nodi non verificati si annulla la domanda base precedentemente assegnata e si inseriscono gli "emitters" con coefficienti  $C_i$  calcolati imponendo che la portata erogata dal dispositivo sia uguale alla richiesta dell'utenza con carico piezometrico uguale al valore richiesto.

La nuova simulazione sarà caratterizzata da portate circolanti inferiori alla precedente e quindi avremo minori perdite di carico distribuite in rete e quindi pressioni maggiori nei nodi.

L'analisi PDA è un procedimento iterativo in cui ad ogni passaggio vengono eliminati quegli "emitters" in cui la portata erogata risulta maggiore della richiesta o inferiore a zero.

## 2 ==> SIMULAZIONE DELLE PERDITE IN UNA RETE ACQUEDOTTISTICA

L'equazione idraulica che lega la portata alla pressione è tradizionalmente rappresentata dalla formula di Torricelli:

$$Q = \mu A \sqrt{2 g H}$$

dove  $\mu$  è il coefficiente di deflusso,  $A$  è l'area del foro ed il loro prodotto  $\mu A$  in caso di condotte in materiale plastico è funzione della pressione.

In fase di analisi le perdite in rete sono considerate come delle portate incognite dipendenti dalle pressione posizionate per semplicità in corrispondenza dei nodi. L'esperienza acquisita ci consente di dire che oltre il 50% delle perdite sono sugli allacciamenti ed il resto distribuito sulle reti.

Le equazioni utilizzate per risolvere il sistema sono ancora quelle di moto e quelle di continuità. Epanet consente la modellazione delle perdite idriche in una rete acquedottistica tramite l'utilizzo della funzione emitters che lega la portata e la pressione attraverso due coefficienti  $K$  e  $\alpha$  a variabili in dipendenza delle caratteristiche della tubazione e del tipo di perdita:

$$Q(t) = K P(t)^\alpha$$

Il valore dell'esponente  $\alpha$  varia da 0.5 per le perdite su tubazioni in materiale ferroso a 2-2,5 per quelle in materiale plastico. Nei grandi sistemi dove si hanno diverse tipologie di perdite, da quelle ad area fissa, a quelle sui pezzi speciali, sugli allacciamenti o sulle tubazioni flessibili a viene assunto pari a 1-1.5.

In ogni nodo del modello è applicabile la relazione  $q_{loss}(t)_j = K_j P_j(t)^\alpha$  in modo tale che la sommatoria estesa a tutta la rete nel generico istante  $t$  fornisce la portata persa dal sistema al medesimo istante:

$$\sum_j q_{loss_j}(t) = \sum_j (k_j P_j(t)^\alpha) = Q_{loss}(t)$$

Per determinare il valore  $K_j$  da assegnare al generico nodo si ricorre ad una stima della perdita idrica sulla base della misura della portata minima notturna MNF (Minimum Night Flow):

$$MNF = HNU + NHNU + ONU + WL$$

Con:

- MNF: Minimum night flow
- HNU: Household night use
- NHNU: Non-Household night use
- ONU: Operational night use
- WL: Water losses

In corrispondenza delle ore notturne coincidenti con il minimo dei consumi e con i valori della pressione di esercizio più elevati, si realizza la più alta proporzione tra il valore della perdita idrica e del consumo.

La stima di WL è tanto più precisa quanto più accurata è la misura di MNF, la stima di HNU, di NHNU e di ONU. In generale il valore del consumo notturno delle utenze domestiche può essere valutato ricorrendo a metodi

riportati in letteratura tecnica. Un primo metodo consiste nel considerare un valore del consumo di 1.7 l/proprietà/ora per ognuna delle utenze servite. Alternativamente possiamo considerare una percentuale pari al 6% di popolazione attiva nel momento in cui si ha il minimo consumo ed assegnare una dotazione idrica procapite di 9 l/abitante/ora. In tale modo risulta:

$$HNU = 0.06 N_{ab} 9 \frac{l}{ab \text{ ora}}$$

dove  $N_{ab}$  è il numero di abitanti serviti .

La stima delle utenze non domestiche (NHNU) può essere ottenuta da valori riportati in letteratura tecnica in funzione della tipologia di attività svolta o preferibilmente da misure dirette. E' invece opportuno eseguire la campagna di misurazione in giorni in cui non siano previsti interventi sulla rete in modo da annullare il termine ONU.

Definito con  $Q_{los}(t)$  il valore delle perdite reali complessive in rete e con TMNF l'istante in cui si registra il valore minimo del consumo notturno ed in considerazione che, oltre alle perdite distribuite lungo le condotte, una percentuale elevata di perdite idriche si ha in prossimità degli allacciamenti alle utenze, in quanto punti di particolare vulnerabilità, si può supporre una proporzionalità diretta della perdita in un nodo della rete con il numero di utenze allocate e la semisomma delle condotte convergenti al nodo.

Pertanto, la perdita idrica complessiva al generico istante può essere vista come la somma algebrica di due portate, l'una dipendente dal numero di allacci presenti in rete e l'altra dall'estensione della rete, secondo due coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  da definire in funzione della sensibilità e dei dati storici in possesso del modellatore:

$$Q_{los}(t) = Q_{los}^N(t) + Q_{los}^L(t)$$

Dove:

$$Q_{los}^L(t) = \beta Q_{loss}(t) \text{ perdita imputabile all'estensione della rete}$$

$$Q_{los}^N(t) = \alpha Q_{loss}(t) \text{ perdita imputabile al numero complessivo di allacci presenti}$$

$$\alpha + \beta = 1 \quad \alpha \approx 0.5$$

Analogamente la perdita per il j-esimo nodo può essere scritta:

$$q_{los_j}(t) = q_{los_j}^N(t) + q_{los_j}^L(t) \quad q_{los_j}(t) = \sum_j q_{los_j}^N(t) + \sum_j q_{los_j}^L(t) = Q_{loss}^N(t) + Q_{loss}^L(t)$$

Ipotizzando che per il j-esimo nodo la quota parte di perdita dovuta agli allacciamenti sia proporzionale alla densità di allacciamenti in esso allocati rispetto alla semisomma delle condotte convergenti si ha:

$$\frac{qlos_j^N(t=T_{MNF})}{Q_{loss}^N(t=T_{MNF})} = \frac{\frac{\left( n_i \right)_j}{l_i}}{\frac{2}{L}}$$

Mentre per la quantità  $qlos_j^L(t)$  possiamo supporre la relazione:

$$\frac{qlos_j^L(t=T_{MNF})}{Q_{loss}^L(t=T_{MNF})} = \frac{\frac{l_i}{2}}{L}$$

Dove:

$N = \sum_j n_j$  sommatoria di tutte le utenze servite dalla rete

$L = \sum_j l_j$  lunghezza complessiva della rete

$\frac{l_i}{2}$  semisomma delle condotte convergenti nel nodo j-esimo

$\left( n_i \right)_j$  sommatoria degli allacciamenti al nodo j-esimo

Poiché vale la relazione generale  $qlos(t)_j = K_j P_j(t)^\alpha$ ,  $k_j$  del nodo j-esimo è:

$$k_j = \frac{qlos_j^L(t=T_{MNF}) + qlos_j^N(t=T_{MNF})}{P_j(t=T_{MNF})^\alpha} = \frac{Q_{loss}^L(t=T_{MNF}) \frac{\frac{l_i}{2}}{L} + Q_{loss}^N(t=T_{MNF}) \frac{\frac{\left( n_i \right)_j}{l_i}}{\frac{2}{L}}}{P_j(t=T_{MNF})^\alpha}$$

dove  $P_j(t=T_{MNF})^\alpha$  può essere ottenuto attraverso l'utilizzo del modello precedentemente costruito e tarato seguendo la metodologia dell'analisi DDA.

In tale modo avremo che :  $qlos_j(t) = \left( k_j P_j(t)^\alpha \right) = Q_{loss}(t)$

Con questo metodo le perdite idriche vengono distribuite su tutti i nodi delle rete anche nel caso in cui non siano allocate delle utenze in quanto il

termine  $\frac{l_i}{2_j}$  è sempre diverso da zero.

Il pattern da utilizzare in Epanet per i consumi reali delle utenze è dato dalla differenza tra il volume immesso in rete  $Q(t)$  misurato, e il volume perso in perdite reali  $Q_{loss}(t)$  :  $Q'(t) = Q(t) - Q_{loss}(t)$

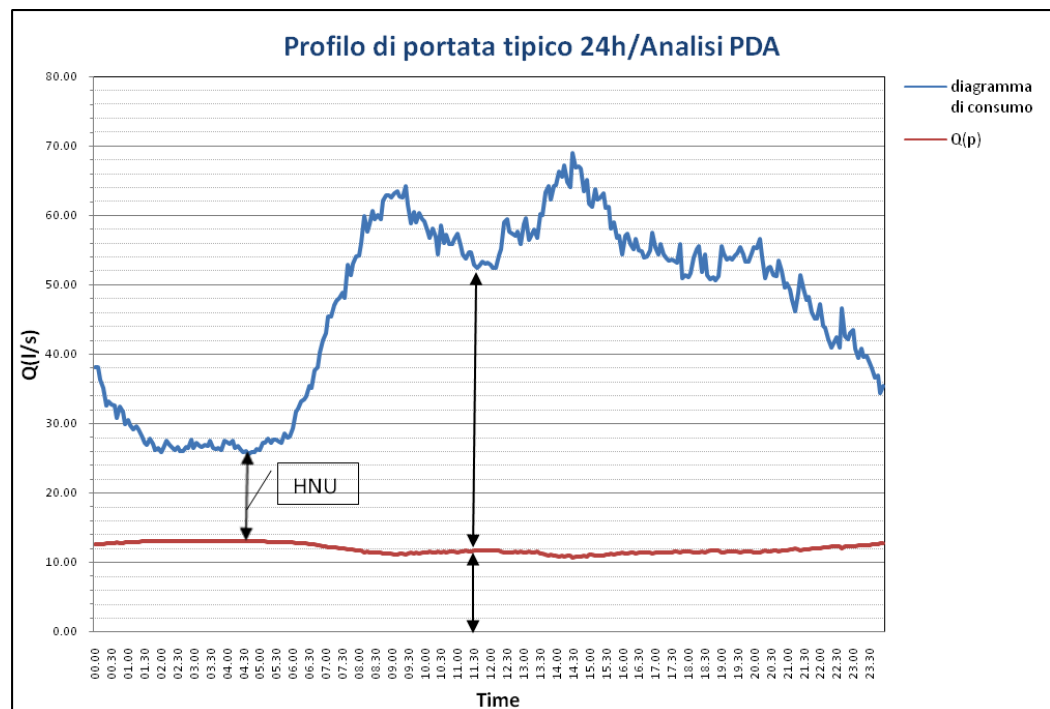


Fig. 2.1: Andamento consumi e perdite

Per valutare l'andamento temporale delle perdite di rete  $Q_{loss}(t)$  si ricorre alla relazione:

$$\frac{Q_{MNF}(t = T_{MNF})}{Q_{loss}(t)} = \frac{P(t = T_{MNF})}{P(t)} \quad Q_{loss}(t) = \frac{P(t)}{P(t = T_{MNF})} \quad Q_{MNF}(t = T_{MNF})$$

dove P(t) è la variazione del piano medio del cielo piezometrico calcolato partendo o dal risultato dell'analisi DDA eseguita sul modello o dalla campagna di misurazioni effettuate.

La base demand da assegnare a ciascuna utenza/contatore o edificio/centroide viene ancora stabilita con uno dei metodi descritti precedentemente purché normalizzata.

Il procedimenti di cui sopra, è iterativo; variando opportunamente ad ogni simulazione il valore del coefficiente a e il diagramma dell'andamento temporale delle perdite in funzione della simulazione precedente si ottengono approssimazioni sempre più precise.

### 3 ==> TARATURA MODELLO

Affinché il modello possa riprodurre adeguatamente il comportamento del sistema e predirne il funzionamento al variare delle condizioni al contorno è necessario seguire una procedura di calibrazione che consiste nel progressivo adeguamento dei parametri idraulici e geometrici quali scabrezza e distribuzione spaziale della domanda.

Il metodo consiste nel minimizzare lo scarto tra i valori della portata e della pressione misurati in più punti della rete con i corrispettivi forniti dal modello idraulico.

Pertanto deve essere preliminarmente avviata una campagna di misurazioni, al fine di costituire una banca dati caratterizzante il funzionamento del sistema.

Il numero di misure da effettuare è strettamente collegato alle dimensioni della rete, a quello dei meccanismi idraulici presenti e ovviamente al grado di approssimazione che si vuole ottenere che sarà tanto maggiore quanto più la campagna sarà estesa.

Tipo di rete	N° punti di misura	
	Pressione	Portata
Città con meno di 30.000 abitanti	30-30	2-6
Città con meno 300.000 abitanti	30-50	5-15
Città con una popolazione di circa 1.000.000 abitanti	60-100	10-20

In aggiunta alle misure effettuate di portata e pressione, occorre raccogliere informazioni sul funzionamento temporale di tutti i meccanismi di disconnessione idraulica e non, che costituiscono le condizioni al contorno, quali: impianti di sollevamento, livello dei serbatoi, valvole di regolazione etc.

Poiché i dati derivati dalle misurazione effettuate in rete sono in numero limitato ed inferiore a quello delle incognite, la calibratura non può fornire una combinazione univoca dei valori delle variabili del sistema: scabrezza e dislocazione spaziale della domanda, ma solo una di esse che meglio adatta il modello allo stato reale.

In Epanet 2.0 è possibile utilizzare la funzione "Calibration" che puntualmente permette di confrontare la popolazione dei dati misurati con quelli forniti dal programma.

## 4 ==> VALIDAZIONE DEL MODELLO

Per ritenere un modello valido, l'errore commesso in fase di taratura deve rientrare entro un limite massimo fissato dal progettista in funzione dell'utilizzo per il quale il modello è stato creato.

L'"Engineering Computer Applications Committee" dell'AWWA propone la seguente tabella:

Uso del modello	Livello di dettaglio	Tipo di simulazione	Misure di pressione	Errore sulla misura di pressione	Misura di portata	Errore nella misura di portata
Pianificazioni	Basso	Dinamica	10% dei nodi	$\pm 3.5$ mca per il 100% delle misure	1% dei tubi	$\pm 10\%$
Progetto	Medio Alto	Dinamica	5% a 2% dei nodi	$\pm 1.4$ mca per il 90% delle misure	3% dei tubi	$\pm 5\%$
Operazioni sull'aret	Alto	Dinamica	10% a 2% dei nodi	$\pm 1.4$ mca per il 90% delle misure	2% dei tubi	$\pm 5\%$
Qualità dell'acqua	Alto	Dinamica	2 % dei nodi	$\pm 2.1$ mca per il 70% delle misure	5% dei tubi	$\pm 2\%$

Tab. 1: fonte Engineering Computer Applications Committee" - AWWA

---

Modello idraulico - Rapporto tecnico Acque Ingegneria Srl 2009-01-12 13.37.40

This document is available on the Internet at

<http://www.klink.it/asap>