



COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

VARIANTE PIANO URBANISTICO ATTUATIVO (ai sensi della L.R. 20/2000, art. 35)

PUA

SUB AMBITO 3.1

**PUA APPROVATO CON DELIBERA ESECUTIVA DI CONSIGLIO COMUNALE
N. 39 DEL 09/06/2016**

(ai sensi della L.R. 16/2012, art. 4, comma 15)

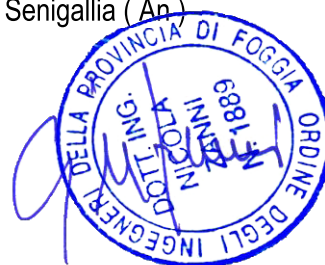
PROPONENTI : ESTERCOSTRUZIONI s.r.l. - San Giorgio di Piano -

PROSPETTIVA IMMOBILIARE s.r.l. - Senigallia (An)

PROGETTO :



arch. ing. Nicola ZANNI
arch. Stefania PIANCONE
geom. Luca TONELLI
grafica Michele ZANNI



Spazio riservato all'Ufficio Tecnico

		N° PROT. U.T.
ELABORATO :	6.1c	data: luglio 2017
	SCALA :	AGGIORNAMENTI :
OGGETTO TAVOLA :		1
RETE IDRICA :		2
RELAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO		3

❖ Codice di calcolo utilizzato.

Il codice di calcolo utilizzato consente di effettuare la simulazione della distribuzione delle pressioni e delle portate in condizioni stazionarie e per la simulazione su un periodo di tempo esteso (tipicamente 24 ore) del comportamento idraulico e dello stato della qualità dell'acqua in una rete acquedottistica.

Il modello, attraverso simulazioni su periodo esteso, è in grado di determinare la portata in ogni tubazione, la pressione in ogni nodo della rete, l'altezza d'acqua in ogni serbatoio e la concentrazione di soluti presente in rete. Risulta inoltre possibile valutare in ogni nodo il tempo di permanenza dell'acqua in rete e la provenienza nel caso di apporti da diverse fonti di adduzione.

Il codice di calcolo opera in ambiente Windows e presenta una struttura modulare con una potente interfaccia grafica per la definizione ed il controllo dei dati di input, un veloce risolutore numerico basato sul codice "EPANET" e un approccio ingegneristico per la presentazione dei risultati. Il codice di calcolo comprende i seguenti moduli:

- input: memorizzazione dei dati, controllo e presentazione. I dati della rete possono essere visualizzati e stampati sotto forma di tabelle e di grafici di diverso tipo (planimetrie, profili longitudinali, andamenti temporali, diagrammi di funzionamento ecc.);
- calcolo: effettuazione delle simulazione numeriche in moto stazionario e su periodo esteso (moto quasi-stazionario);
- output: presentazione dei risultati. La visualizzazione dei risultati può avvenire attraverso mappe colorate, tabelle, grafici di diverso tipo e interrogazioni del data-base mediante comandi SQL. I risultati possono inoltre essere importati in programmi esterni GIS e CAD attraverso la creazione di file di interscambio.

La rete di distribuzione è rappresentata da una serie di elementi (*links*) connessi tra loro in corrispondenza dei loro punti estremi chiamati nodi (*junctions*).

Gli elementi (*links*) che compongono il sistema sono i seguenti:

- tubazioni (*pipes*);
- nodi (*junctions*), oltre a individuare i punti di connessione tra due o più tubazioni, rappresentano anche:
 - punti di consumo o erogazione d'acqua (*demand nodes*);
 - punti di alimentazione (*source nodes*);
 - vasche o serbatoi (*storage nodes: tanks, reservoirs*).

Come unità di misura il modello accetta, oltre a quelle anglosassoni, le unità metriche (m) per le distanze e le pressioni e i litri per secondo (l/s) per le portate. Le tubazioni convogliano portata da un punto all'altro della rete. La perdita di carico distribuita associata al deflusso in un tubazione viene espressa in generale come:

$$h_L = aq^b$$

in cui:

- h_L = perdita di carico distribuita (m);
- q = portata defluente (l/s);
- a = coefficiente di resistenza (funzione del coefficiente di scabrezza, del diametro e della lunghezza della tubazione);
- b = esponente.

Il codice di calcolo esprime tale relazione utilizzando una a scelta delle seguenti note formulazioni, a cui sono associati i corrispondenti coefficienti di scabrezza:

- formula di Hazen-Williams;
- formula di Darcy-Weisbach (utilizzata nella presente verifica);
- formula di Chezy-Manning.

Perdite di carico localizzate causate dalla turbolenza indotta da curve, giunzioni, valvole, misuratori di portata ecc. possono essere associate ad ogni tubazione e valvola, in funzione dell'importanza relativa di tali perdite di carico nell'ambito della rete in esame e del grado di accuratezza richiesto nelle simulazioni del comportamento della rete stessa.

Ai nodi della rete occorre assegnare la quota sul livello del mare (in modo che il modello possa determinare il contributo al carico idraulico fornito dalle differenze di quota altimetrica) e il consumo o erogazione di acqua per l'intero arco di tempo simulato.

I serbatoi (*tanks* e *reservoirs*) sono tipi speciali di nodo "a pelo libero" in corrispondenza dei quali il carico idraulico coincide con la quota assoluta del livello d'invaso.

Nel codice di calcolo vengono distinti i seguenti tipi di serbatoi:

- *Tank* – serbatoio con invaso, nel quale il livello è variabile in funzione della portata che entra o esce da esso in base alla relazione seguente:

$$\Delta y = \left(\frac{q}{A} \right) \cdot \Delta t$$

in cui: Δy = differenza di livello nel serbatoio (m), q = portata entrante (+) o uscente (-) dal serbatoio (l/s), A = area in pianta del serbatoio (m²), Δt = intervallo di tempo (s). Per la loro definizione occorre assegnare le dimensioni del serbatoio (lunghezza per larghezza o diametro) e i livelli di invaso minimi e massimi consentiti;

- *Reservoir* – serbatoio senza invaso, nel quale il livello è assunto costante a prescindere dalla portata uscente. Questo tipo di nodo è utilizzato generalmente per rappresentare adduzioni idriche esterne, come ad esempio sorgenti, campi pozzi, laghi, fiumi ecc.

Per le simulazioni della qualità dell'acqua presente in rete è possibile specificare in corrispondenza di ogni serbatoio (*tank*) le caratteristiche e modalità di miscelamento che avvengono in esso.

Nel codice di calcolo i consumi idrici ai nodi (ed eventualmente anche le portate addotte e le corrispondenti concentrazioni di soluti) possono variare da un periodo di tempo all'altro. Ad ogni nodo può essere associato un valore base di riferimento (ad esempio la portata media giornaliera) e per gruppi di nodi viene definito l'andamento temporale attraverso coefficienti moltiplicativi del valore base (ad esempio i coefficienti di punta orari).

Il codice di calcolo utilizza un modello idraulico di simulazione su periodo esteso che risolve il seguente sistema di equazioni in ogni nodo "s" della rete rappresentante un serbatoio (*tank* o *reservoir*):

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} = \frac{Q_s}{A_s} \quad (1)$$

$$Q_s = \sum_i Q_{is} - \sum_j Q_{sj} \quad (2)$$

$$h_s = E_s + y_s \quad (3)$$

insieme alle seguenti equazioni per ogni collegamento (tra i nodi "i" e "j") e ogni nodo "k":

$$h_i - h_j = f(Q_{ij}) \quad (4)$$

$$\sum_i Q_{is} - \sum_j Q_{sj} - Q_k = 0 \quad (5)$$

dove le variabili incognite sono:

- y_s = altezza d'acqua invasata nel serbatoio "s" (m);
- Q_s = portata nel serbatoio "s" (l/s);
- Q_{ij} = portata defluente nel collegamento tra i nodi "i" e "j" (l/s);
- h_i = carico piezometrico nel nodo "i" (pari alla somma della quota del nodo e della pressione sul nodo) (m.s.l.m.);

e le variabili note sono:

- A_s = area in pianta del serbatoio "s" (pari a infinito per i "reservoirs") (m²);
- E_s = quota di base del serbatoio "s" (m.s.l.m.);
- Q_k = portata erogata (+) o addotta (-) al nodo "k" (l/s);

- $f(Q_{ij})$ = relazione funzionale tra la portata e la perdita di carico nel collegamento tra i nodi "i" e "j".

La (1) esprime la conservazione del volume di acqua in un nodo di accumulo mentre la (2) e la (5) hanno la stessa funzione per i nodi estremi dei condotti. La (4) rappresenta la variazione di energia causata dal flusso dell'acqua all'interno di un ramo. Noti i livelli iniziali dei nodi di accumulo y_s al tempo zero, si risolvono le (4) e (5) per tutte le portate Q_{ij} ed i carichi h_i usando la (3) come condizione al contorno. Questa fase viene detta "bilanciamento idraulico" della rete, e viene condotta utilizzando una tecnica iterativa per risolvere il sistema di equazioni non lineari.

Per risolvere questo sistema di equazioni lineari viene impiegato un metodo iterativo altamente efficiente e veloce noto come "metodo del gradiente" ed ha diverse caratteristiche da sottolineare. Innanzitutto la matrice del sistema da risolvere ad ogni passo è sparsa, simmetrica e definita positiva. Questo permette di usare tecniche di risoluzione altamente efficaci. Va poi ricordato che questo metodo assicura la continuità della portata ai nodi dopo la prima iterazione. Infine, è possibile modellare il cambiamento di stato di pompe e valvole senza variare la struttura della matrice.

Dopo aver trovato la soluzione idraulica, viene calcolata dalla (2) la portata Q_s entrante (o uscente) da ogni nodo di accumulo; tale portata viene inserita nella (1) per trovare i nuovi livelli dopo un intervallo di tempo t . Questo processo viene poi ripetuto per tutti i passi temporali che compongono l'intervallo di simulazione.

Il passo di tempo idraulico di default nel programma è pari ad un'ora, ma è possibile modificare questo valore. Il programma può comunque considerare automaticamente passi di tempo inferiori qualora avvengano cambiamenti di stato di pompe, serbatoi ed altri organi.

Per quanto concerne i rami con erogazione uniforme di portata lungo il percorso (caso tipico in

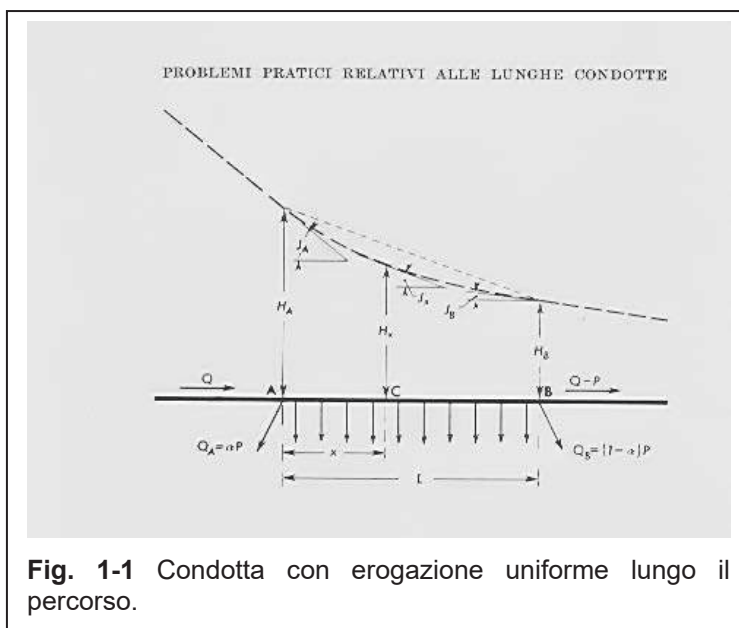
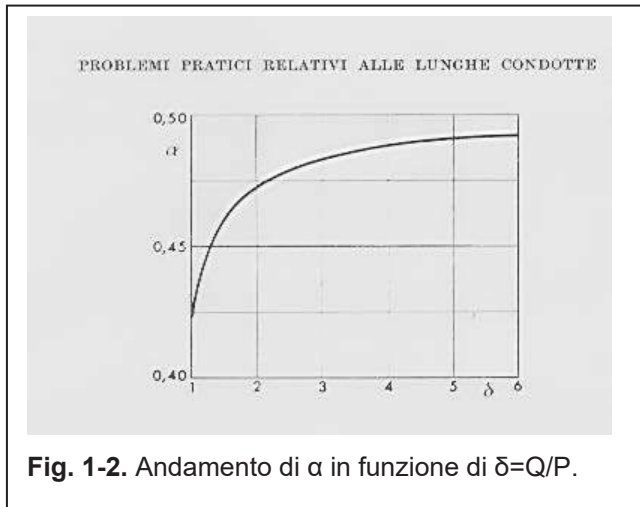


Fig. 1-1 Condotta con erogazione uniforme lungo il percorso.

una rete di distribuzione), dalla teoria è noto che è possibile sostituire al tronco con distribuzione lungo il percorso un tronco equivalente di egual lunghezza e diametro con erogazioni concentrate ai due estremi, di valore tale da comportare una perdita di carico complessiva identica a quella effettiva. E' possibile, dunque, tener conto dei rami con erogazione uniforme lungo il percorso

semplicemente supponendo tale portata per metà erogata nel nodo di monte e per l'altra metà in quello di valle.



Con riferimento alla soprastante fig. 1-1, detta Q la portata in ingresso nel ramo, P la portata erogata lungo il percorso, $Q-P$ quella in uscita dallo stesso, sia $\alpha \cdot P$ la portata concentrata nel nodo di monte e $(1-\alpha) \cdot P$ quella concentrata nel nodo di valle. Orbene, si dimostra, così come si evince dalla fig. 1-2, che per $\alpha = 0,5$, ossia nell'ipotesi di concentrare metà portata erogata nel nodo di monte e l'altra metà nel nodo di valle, la perdita di carico relativa a

questa configurazione è la stessa nel caso di portata erogata uniformemente lungo il percorso.

Il programma, dunque, consente di tener conto dei rami con erogazione uniforme lungo il percorso semplicemente supponendo tale portata per metà erogata nel nodo di monte e per l'altra metà in quello di valle. Le portate calcolate circolanti nei rami della rete saranno in questo caso le portate equivalenti, ossia $Q_{eq.} = P_{estr.} + 0,55 \cdot q_{distr.}$ in cui $P_{estr.}$ è la portata di estremità del nodo di valle, $q_{distr.}$ è la portata distribuita dal tronco. Nota $Q_{eq.}$ dal calcolo, nota $q_{distr.}$ perché dato di partenza del problema, è possibile ricavare la portata del nodo di valle $P_{estr.} = Q_{eq.} - 0,55 \cdot q_{distr.}$ e quella del nodo di monte $Q_{estr.} = P_{estr.} + q_{distr.}$

Quando si verifica la circostanza per cui $P_{estr.} < 0$, significa che la portata del nodo di valle è uscente e diretta verso il nodo di monte, ossia ci troviamo in presenza di un *punto neutro* o *punto di separazione delle acque* (l'acqua ivi converge sia dal nodo di monte che da quello di valle).

VERIFICA DI FUNZIONAMENTO CON UN SOLO IDRANTE

Risultati delle simulazioni.

La rete di progetto è stata importata in ambiente "EPANET", costituita da:

- 1) N. 1 reservoir, in corrispondenza del punto di consegna, la cui condizione di input è quella della pressione in ingresso al sistema, pari a 30 m;
- 2) N. 9 junctions, corrispondenti ai nodi della rete, ai quali è stata attribuita la portata dimezzata del singolo tronco ivi confluyente;
- 3) N. 11 pipes, pari ai tronchi presenti;
- 4) N. 2 pattern, ovvero la curva di domanda intitolata "domestico", per i consumi domestici, e la curva di domanda intitolata "antincendio", per considerare gli idranti;
- 5) scabrezza di *Colebrook* " ϵ " = 0,1 mm, per considerare il rivestimento interno delle tubazioni utilizzate.

Per quanto riguarda le curve di domanda, per l'aliquota domestica si è importata una curva con andamento classico, avente un picco massimo tra le 07:00 e le 08:00, con coefficiente di punta pari a 2,0, e un picco minimo tra le 03:00 e le 04:00, circa pari a 0,3; per l'aliquota antincendio, si è importata una curva di domanda con coefficiente pari a 1,0 per l'intero arco della giornata, il che significa che si ipotizza il funzionamento continuo dell'idrante per un giorno.

Le analisi sono state condotte nelle due situazioni di progetto più gravose: la prima, che si realizza durante il picco massimo di portata, tra le ore 07:00 e 08:00, per il regime delle pressioni minime, in cui si è ipotizzata la contemporaneità del picco di domanda domestico e del funzionamento **di un idrante nel nodo P2** richiedente una portata pari a 5 l/s; la seconda, tra le ore 03:00 e 04:00, quindi durante il picco minimo di portata, per il regime delle pressioni massime. Data la particolare orografia del territorio analizzato, pressochè pianeggiante, e le modeste portate presenti in rete, in entrambe le situazioni i valori di pressione presentano variazioni molto contenute tra la fascia diurna e notturna (la pressione minima raggiunta è pari a 27,71, con una diminuzione rispetto al valore in ingresso pari a 2,19 m); pertanto, i valori di pressione risultano largamente soddisfacenti ai fini del servizio idrico.

Di seguito, si riportano le curve di domanda, importate nel modello di calcolo, e, a titolo d'esempio, i risultati delle elaborazioni (sotto forma d'immagini e tabelle) relative alle condizioni di funzionamento in cui si verifica il picco massimo di portata.

Eventuali segni negativi delle portate indicano che il flusso nel tronco segue un percorso contrario alla numerazione crescente assegnata ai nodi assunta quale verso positivo.

```

*****
*                               E P A N E T                               *
*                               Hydraulic and Water Quality                *
*                               Analysis for Pipe Networks                 *
*                               Version 2.0                               *
*****

```

Input File: Calcolo per la rete San Giorgio 1 idrante.net

Link - Node Table:

Link ID	Start Node	End Node	Length m	Diameter mm
p1	P1	1	27.57	90
p2	1	2	54.23	90
p3	2	3	62.55	90
p4	3	4	52.82	90
p8	6	7	52.2	90
p11	7	P2	47.08	90
p5	1	4	60.18	90
p6	4	5	58.47	90
p10	5	8	48.25	90
p7	5	6	67.27	90
p9	7	8	67.15	90

Node Results at 7:00 Hrs:

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
1	0.06	49.15	29.84	0.00
2	0.12	49.05	30.00	0.00
3	0.08	48.95	29.90	0.00
4	0.04	48.87	29.98	0.00
6	0.14	48.10	28.76	0.00
7	0.24	47.97	28.48	0.00
P2	5.06	47.57	27.71	0.00
5	0.10	48.28	29.45	0.00
8	0.06	48.15	28.66	0.00
P1	-5.90	49.46	0.00	0.00 Reservoir

Link Results at 7:00 Hrs:

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
p1	5.90	0.93	11.27	Open
p2	2.19	0.34	1.77	Open
p3	2.07	0.33	1.60	Open
p4	1.99	0.31	1.48	Open
p8	2.60	0.41	2.42	Open
p11	5.06	0.80	8.43	Open
p5	3.65	0.57	4.56	Open
p6	5.60	0.88	10.21	Open
p10	2.76	0.43	2.71	Open
p7	2.74	0.43	2.67	Open
p9	-2.70	0.42	2.61	Open

Tabella 1.1 – Risultati modello di calcolo – ora di massimo consumo

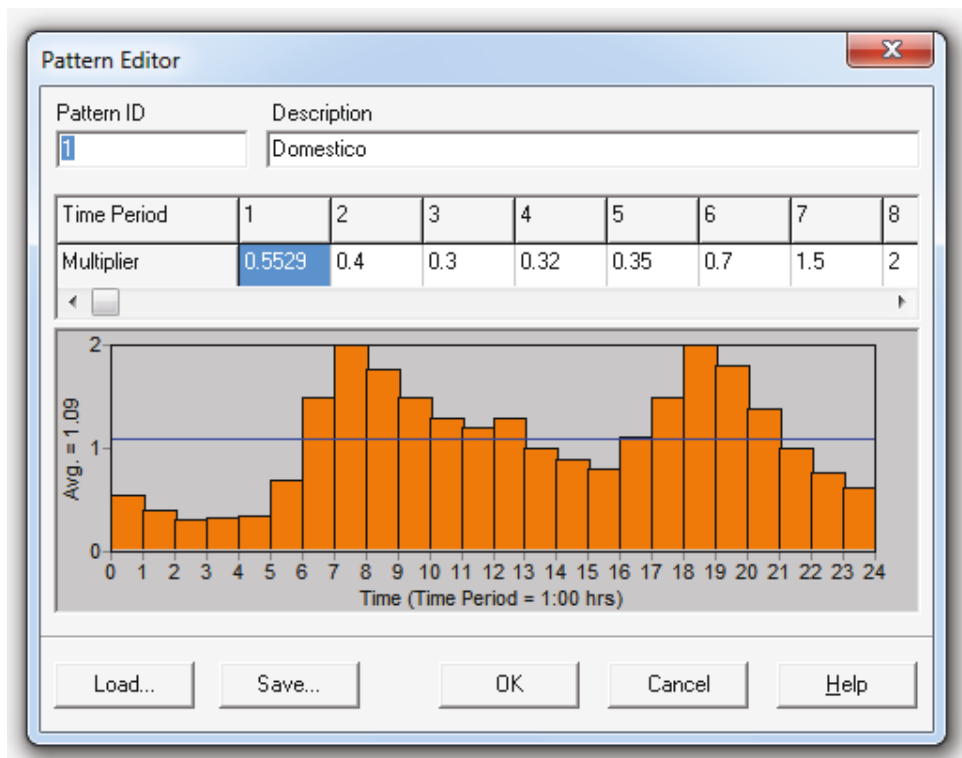


Fig. 1-3 – Curva di domanda per consumo domestico.

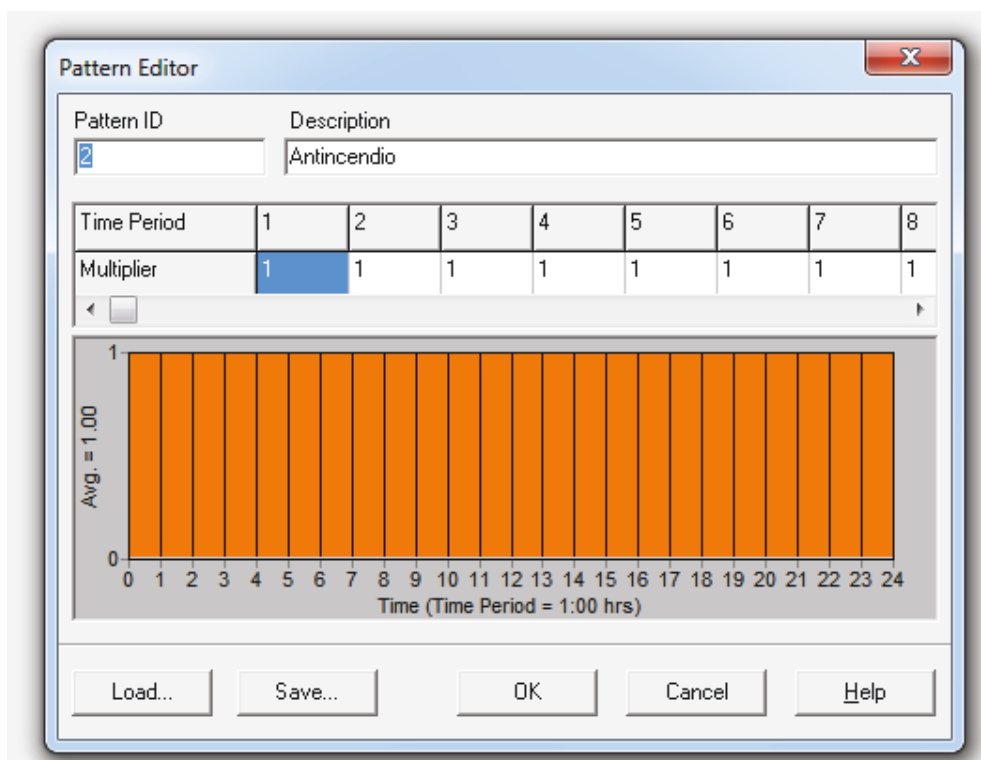


Fig. 1-4 – Curva di domanda per antincendio.

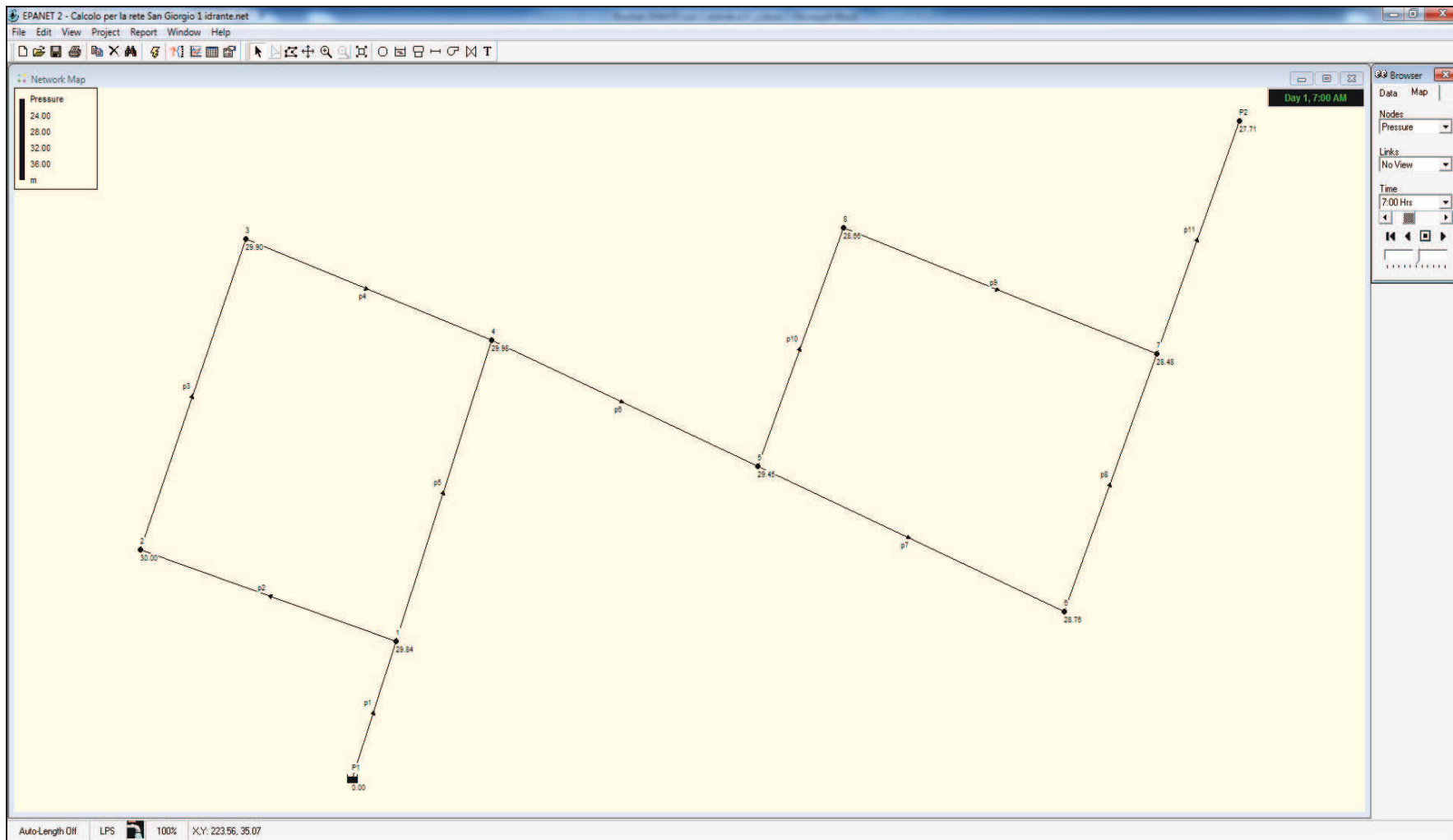


Figura A – Ambiente EPANET 2.0 - pressione in rete

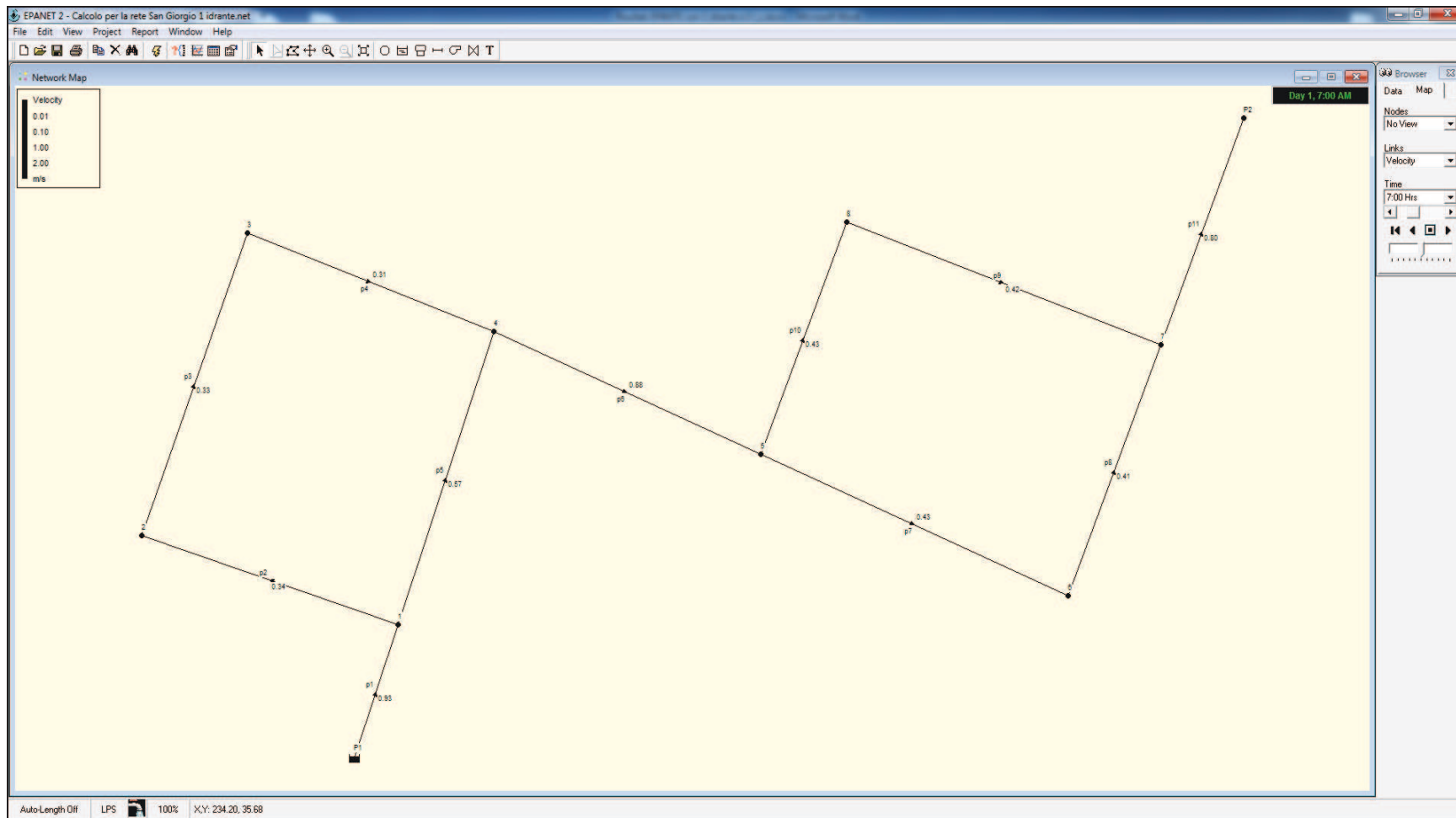


Figura B – Ambiente EPANET 2.0 - velocità in rete

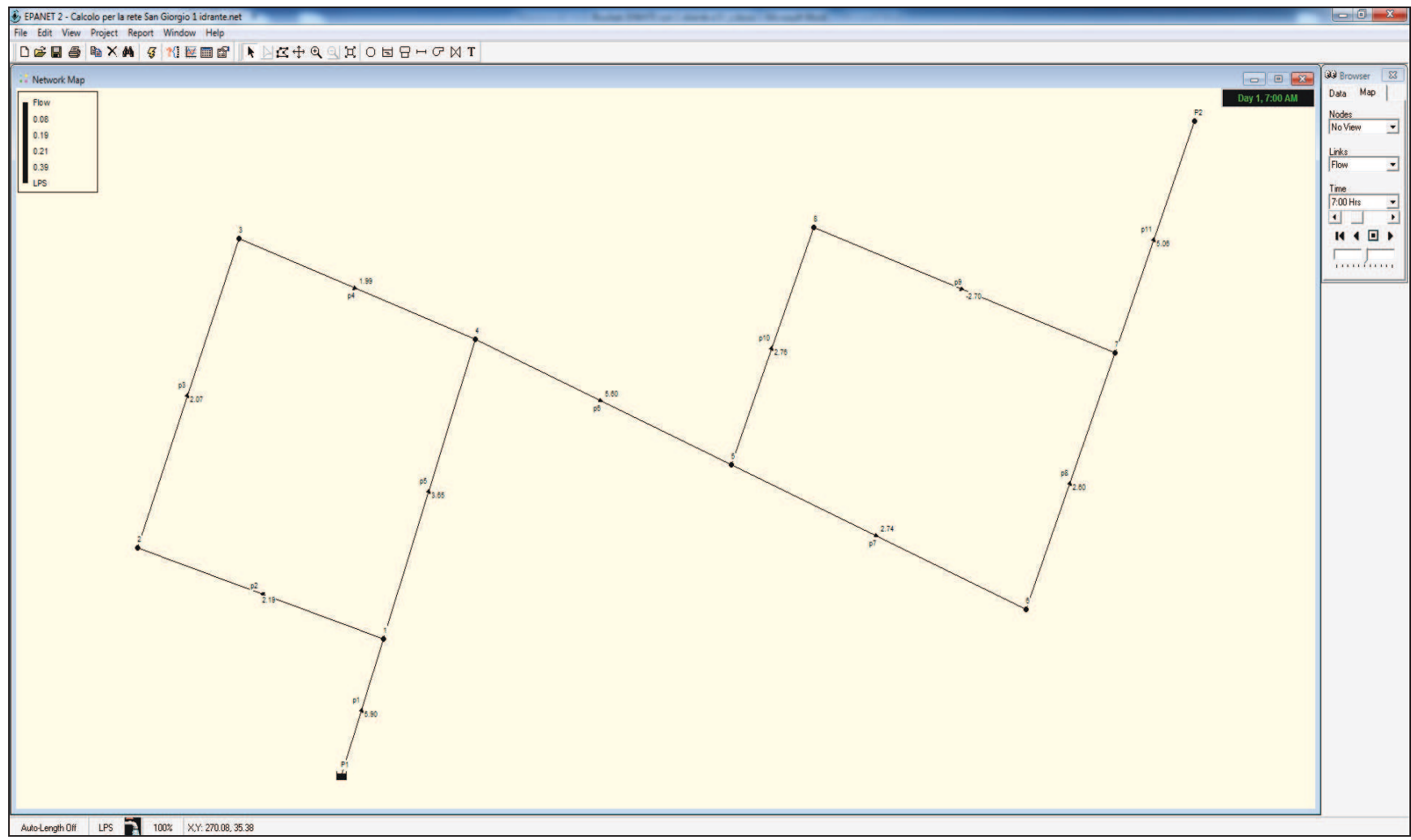


Figura C – Ambiente EPANET 2.0 - portata in rete

• MODELLO DI CALCOLO CON DUE IDRANTI

Risultati delle simulazioni.

La rete di progetto è stata importata in ambiente "EPANET", costituita da:

- 1) N. 1 reservoir, in corrispondenza del punto di consegna, la cui condizione di input è quella della pressione in ingresso al sistema, pari a 30 m;
- 2) N. 9 junctions, corrispondenti ai nodi della rete, ai quali è stata attribuita la portata dimezzata del singolo tronco ivi confluyente;
- 3) N. 11 pipes, pari ai tronchi presenti;
- 4) N. 2 pattern, ovvero la curva di domanda intitolata "domestico", per i consumi domestici, e la curva di domanda intitolata "antincendio", per considerare gli idranti;
- 5) scabrezza di *Colebrook* " ϵ " = 0,1 mm, per considerare il rivestimento interno delle tubazioni utilizzate.

Per quanto riguarda le curve di domanda, per l'aliquota domestica si è importata una curva con andamento classico, avente un picco massimo tra le 07:00 e le 08:00, con coefficiente di punta pari a 2,0, e un picco minimo tra le 03:00 e le 04:00, circa pari a 0,3; per l'aliquota antincendio si è importata una curva di domanda con coefficiente pari a 1,0 per l'intero arco della giornata.

Le analisi sono state condotte nelle due situazioni di progetto più gravose: la prima, che si realizza durante il picco massimo di portata, tra le ore 07:00 e 08:00, per il regime delle pressioni minime, in cui si è ipotizzata la contemporaneità del picco di domanda domestico e del funzionamento di due idranti, richiedenti ciascuno una portata pari a 5 l/s, in due punti, rispettivamente **nei nodi 2 e P2** della rete distanti tra loro; la seconda, tra le ore 03:00 e 04:00, quindi durante il picco minimo di portata, per il regime delle pressioni massime. Data la particolare orografia del territorio analizzato, pressochè pianeggiante, e le modeste portate presenti in rete, in entrambe le situazioni i valori di pressione presentano variazioni molto contenute tra la fascia diurna e notturna (la pressione minima raggiunta è pari a 26,74, con una diminuzione rispetto al valore in ingresso pari a 3,26 m); pertanto, i valori di pressione risultano largamente soddisfacenti ai fini del servizio idrico.

Di seguito, si riportano le curve di domanda, importate nel modello di calcolo, e, a titolo d'esempio, i risultati delle elaborazioni (sotto forma d'immagini e tabelle) relative alle condizioni di funzionamento in cui si verifica il picco massimo di portata.

Eventuali segni negativi delle portate indicano che la portata viaggia nel tronco seguendo un percorso contrario alla numerazione crescente assegnata ai nodi assunta quale verso positivo.

```

*****
*                               E P A N E T                               *
*                               Hydraulic and Water Quality              *
*                               Analysis for Pipe Networks                *
*                               Version 2.0                              *
*****

```

Input File: Calcolo per la rete San Giorgio 2 idranti.net

Link - Node Table:

Link ID	Start Node	End Node	Length m	Diameter mm
p1	P1	1	27.57	90
p2	1	2	54.23	90
p3	2	3	62.55	90
p4	3	4	52.82	90
p8	6	7	52.2	90
p11	7	P2	47.08	90
p5	1	4	60.18	90
p6	4	5	58.47	90
p10	5	8	48.25	90
p7	5	6	67.27	90
p9	7	8	67.15	90

Node Results at 7:00 Hrs:

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
1	0.06	48.45	29.14	0.00
2	5.12	47.91	28.85	0.00
3	0.08	47.90	28.85	0.00
4	0.04	47.90	29.01	0.00
6	0.14	47.12	27.79	0.00
7	0.24	47.00	27.50	0.00
P2	5.06	46.60	26.74	0.00
5	0.10	47.30	28.47	0.00
8	0.06	47.17	27.68	0.00
P1	-10.90	49.46	0.00	0.00 Reservoir

Link Results at 7:00 Hrs:

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
p1	10.90	1.71	36.56	Open
p2	5.54	0.87	10.02	Open
p3	0.42	0.07	0.09	Open
p4	0.34	0.05	0.07	Open
p8	2.60	0.41	2.42	Open
p11	5.06	0.80	8.43	Open
p5	5.30	0.83	9.19	Open
p6	5.60	0.88	10.21	Open
p10	2.76	0.43	2.71	Open
p7	2.74	0.43	2.67	Open
p9	-2.70	0.42	2.61	Open

Tabella 1.1 – Risultati modello di calcolo – ora di massimo consumo

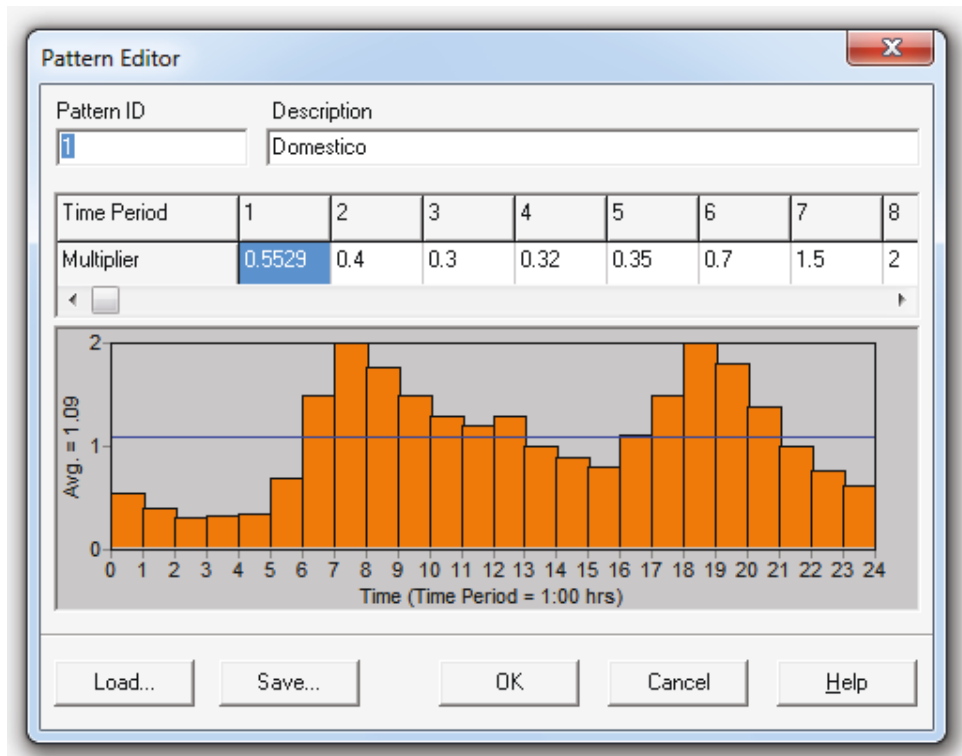


Fig. 1-3 – Curva di domanda per consumo domestico.

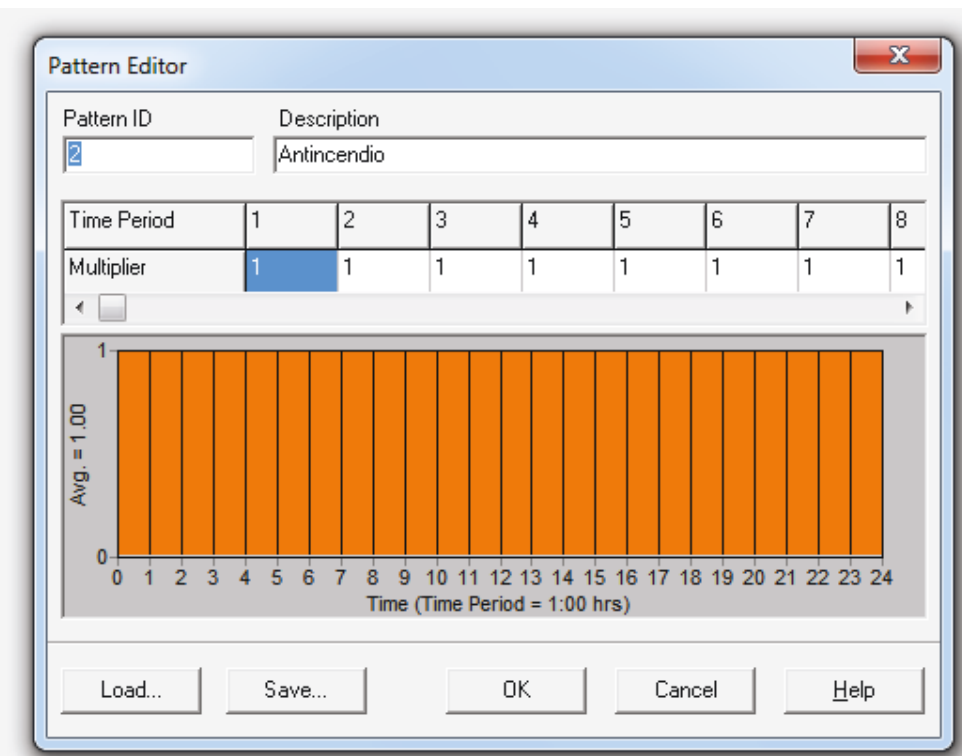


Fig. 1-4 – Curva di domanda per antincendio.

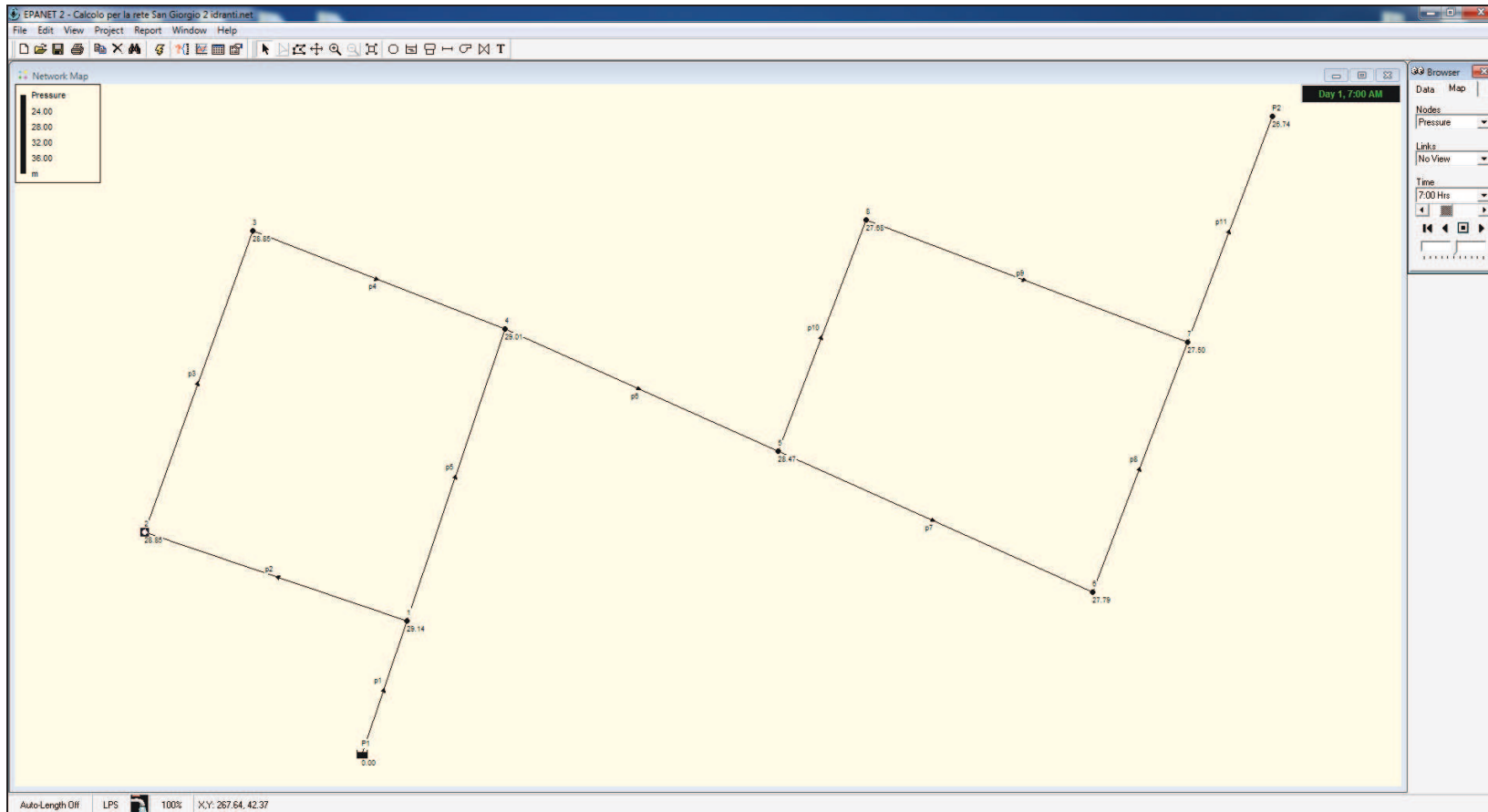


Figura A – Ambiente EPANET 2.0 - pressione in rete

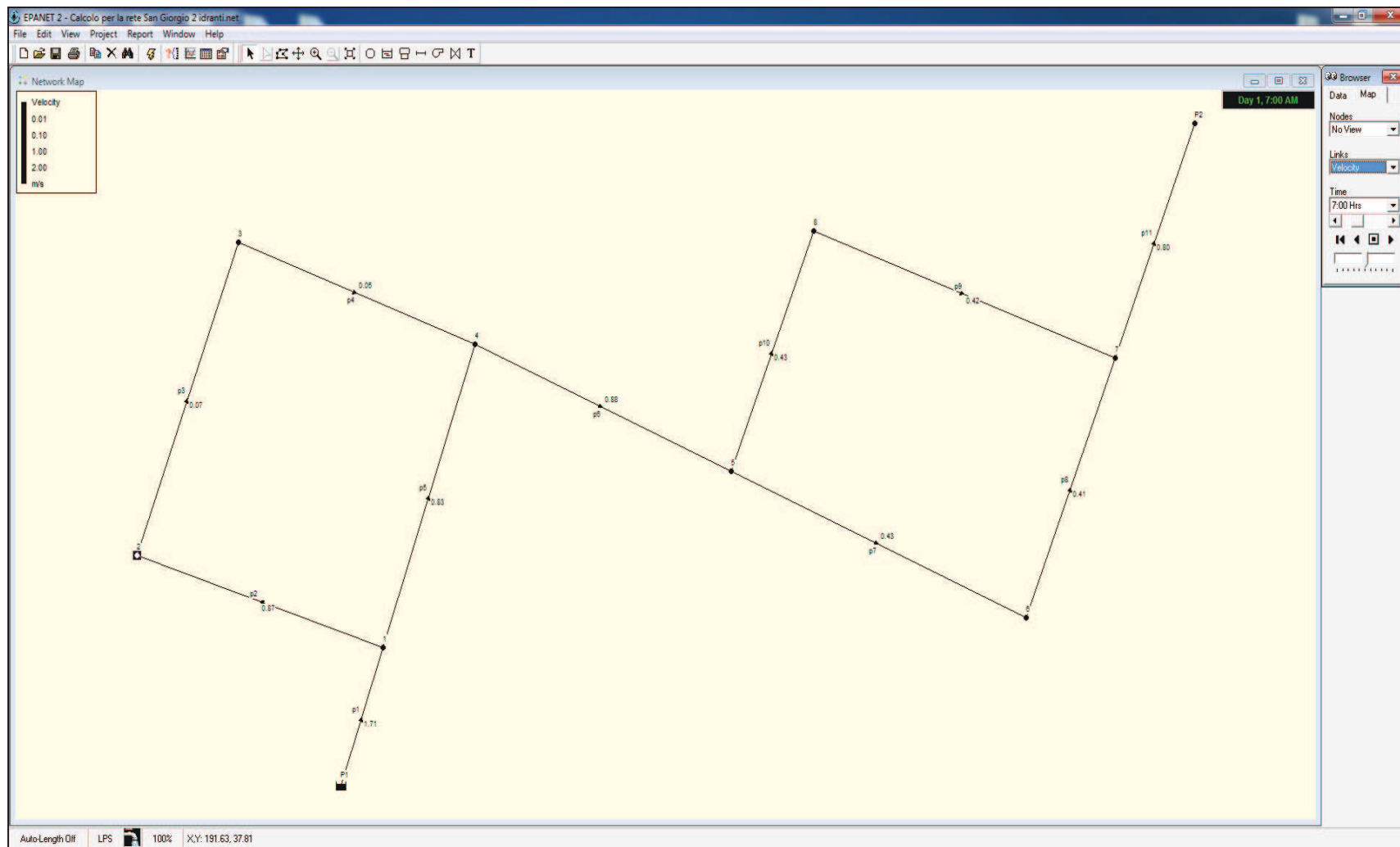


Figura B – Ambiente EPANET 2.0 - velocità in rete

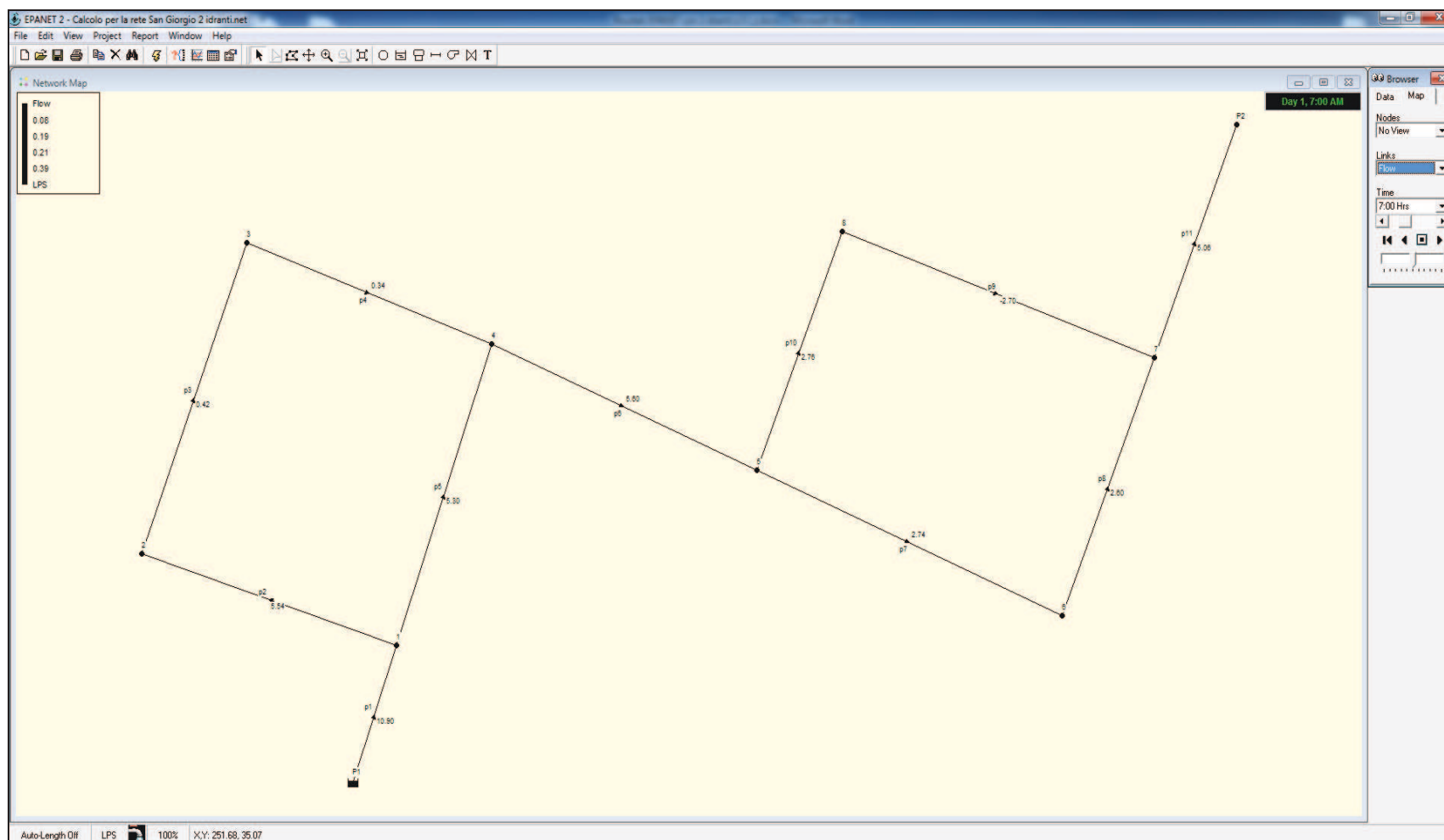


Figura C – Ambiente EPANET 2.0 - portata in rete