



COMUNE DI TERMOLI
Provincia di Campobasso

P.A.R. 2007-2013

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

N. elaborato: A1.3.1	Lavori di: OTTIMIZZAZIONE RETE IDRICA	
Data: 29/10/2015	Elaborato: Relazione di calcolo Dimensionamento condotta	
SCALA: -	Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE Via Sannitica n. 5 86039 - Termoli (CB)	Estremi approvazione:
<u>ING. MARCO MANES</u> Via Calvario n. 56 - 86037 Palata (CB) C.so Umberto I° n. 30 - 86039 Termoli (CB) mob. 339 5689147 - fax 0875 911313 marcomanes@gmail.com marcomanes@pec.it		Progettazione: <i>Ing. Marco MANES</i> _____

INDICE

RICHIAMI TEORICI E DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA.....	2
POSIZIONE DEL PROBLEMA	2
TIPOLOGIA DELLE RETI.....	2
DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LA RETE	2
SCHEMA DELL'EROGAZIONE.....	2
CONVENZIONE DI SEGNO DELLE PORTATE CIRCOLANTI NEI TRONCHI	3
DEFINIZIONE DELLE VARIABILI UTILIZZATE	3
RELAZIONE FRA I NUMERI DEGLI ELEMENTI CHE COSTITUISCONO LA RETE	3
FORMULE DI RESISTENZA IDRAULICA.....	4
IL PROBLEMA DEL DIMENSIONAMENTO	4
PROCEDURA DI CALCOLO	6
CALCOLO DELLA PORTATA	6
DETERMINAZIONE DEI DIAMETRI	6
VERIFICA.....	13

RICHIAMI TEORICI E DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA

Nel seguito sono richiamati alcuni concetti teorici riguardanti il problema del dimensionamento idraulico di una rete di distribuzione idrica ed è sinteticamente descritta la procedura di calcolo implementata nel programma di calcolo che si è impiegato (PVNET).

Per maggiori approfondimenti si rimanda alla letteratura specializzata e, per quanto riguarda la specifica procedura di calcolo adottata, all'articolo originario di C. Ciaponi e S. Papiri (1985).

Posizione del problema

Tipologia delle reti

Dal punto di vista topologico le reti si distinguono in:

- reti ramificate o aperte: presentano una struttura ad albero ramificato, cioè senza circuiti chiusi, così che il percorso fra ogni punto di alimentazione e ogni punto di erogazione è univocamente determinato;
- reti a maglie chiuse: i vari tronchi della rete sono fra loro connessi mediante circuiti chiusi, così che fra ogni punto di alimentazione e ogni punto di erogazione esistono più percorsi possibili;
- reti miste: sono costituite da una o più parti a maglie chiuse e da una o più parti ramificate.

Definizione degli elementi costituenti la rete

Gli elementi costituenti la rete sono:

- lato o tronco: insieme di condotte fra loro connesse che costituiscono un elemento con caratteristiche uniformi per quanto riguarda: diametro, materiale, portata circolante (o erogata lungo il percorso);
- nodo: punto di connessione di due o più tronchi, o punto di estremità in cui il tronco non si connette ad altri tronchi;
- maglia: insieme di tronchi fra loro connessi in un circuito chiuso;
- maglia elementare: maglia che non contiene altri circuiti chiusi al suo interno.

Schema dell'erogazione

Nella trattazione che segue, l'erogazione all'utenza è schematizzata attraverso portate concentrate nei nodi.

Convenzione di segno delle portate circolanti nei tronchi

Per i sistemi ramificati, il segno positivo della portata che transita in un tronco corrisponde al flusso dell'acqua (dall'estremità di monte a quella di valle).

Per i sistemi a maglie chiuse, va fissato un senso positivo di percorrenza del tronco: in genere, il segno positivo corrisponde a quello di percorrenza oraria della maglia a cui il tronco appartiene. Una volta fissato il senso positivo di percorrenza, si definisce nodo iniziale il nodo di monte e nodo finale quello di valle.

Definizione delle variabili utilizzate

Le variabili utilizzate nella trattazione che segue sono:

- L = numero dei lati
- N = numero dei nodi
- M = numero delle maglie elementari
- i = indice del generico lato ($i = 1, L$)
- j = indice del generico nodo ($j = 1, N$)
- k = indice della generica maglia elementare ($k = 1, M$)
- Q_j = portata concentrata nel j -esimo nodo [l/s] (positiva se entrante; negativa se uscente)
- z_j = quota geometrica del j -esimo nodo [m]
- H_j = quota piezometrica del j -esimo nodo [m]
- p_j = pressione del j -esimo nodo = $H_j - z_j$ [m colonna acqua]
- Y_j = valore minimo della pressione [m colonna acqua] che va garantito al j -esimo nodo
- l_i = lunghezza dell' i -esimo lato [m]
- q_i = portata circolante nell' i -esimo lato [l/s]
- D_i = diametro interno dell' i -esimo lato [mm]

Relazione fra i numeri degli elementi che costituiscono la rete

Fra i numeri degli elementi (lati, nodi, maglie elementari) che costituiscono una rete, qualunque sia la sua configurazione topologica, esiste la seguente relazione:

$$L = M + N - 1 \quad (1)$$

Formule di resistenza idraulica

Il codice di calcolo consente l'utilizzo di diverse espressioni per il calcolo delle perdite di carico.

Ai fini della trattazione che segue, si richiamano qui solo le formule monomie, che sono di comune applicazione in Italia e che hanno una formulazione del tipo:

$$J_i = b \frac{q_i^a}{D_i^d} \quad (2)$$

nella quale J_i rappresenta la cadente piezometrica [m/m] del lato i-esimo e a , b e d sono parametri che dipendono dal tipo di materiale costituente la condotta. La perdita di carico ΔH del tronco i-esimo è quindi esprimibile nel seguente modo:

$$\Delta H_i = s_i b \frac{|q_i|^a}{D_i^d} l_i = s_i r_i |q_i|^a \quad (3)$$

nella quale:

- s = indicatore di segno della portata ($s = +1$ se $q > 0$; $s = -1$ se $q < 0$)
- r = perdita di carico per unità di portata ($r = b / D^d$)

Il problema del dimensionamento

Assegnata una rete di cui si conosce la struttura topologica, nell'ipotesi che sia alimentata in un unico nodo (individuato con la numerazione "1") con un carico iniziale definito H_1 , il problema del suo dimensionamento si pone nel seguente modo:

A) dati del problema:

- dati relativi alla rete: L , N , M
- dati relativi ai lati: l_i , a_i , b_i , d_i ($i = 1, L$)
- dati relativi ai nodi: H_1 , Q_j , z_j ($j = 1, N$)

B) incognite del problema:

- incognite relative ai tronchi: q_i, D_i ($i = 1, L$) → il numero delle incognite è $2L$
- incognite relative ai nodi: H_j ($j = 2, N$) → il numero delle incognite è $N-1$

C) vincoli sulle pressioni:

- $p_j = H_j - z_j \geq Y_j$ essendo Y_j il valore minimo della pressione (in m colonna acqua) che va garantito al j -esimo nodo

D) equazioni disponibili:

- equazioni di continuità ai nodi:

$$\sum q_i + Q_j = 0 \quad (4)$$

nella quale la sommatoria è estesa ai tronchi confluenti nel j -esimo nodo; le equazioni (4) possono essere scritte per ogni nodo, ma quelle indipendenti sono pari a $N-1$.

- equazioni del moto per i tronchi:

$$\Delta H = H_i^I - H_i^F = s_i b \frac{|q_i|^a}{D^d} l_i \quad (5)$$

le equazioni (5) possono essere scritte per ogni tronco e quindi sono pari a L

E) bilancio fra incognite ed equazioni

Il numero delle incognite è pari a $2L + N - 1$; il numero delle equazioni è pari a $L + N - 1$;

ne consegue che il problema del dimensionamento è idraulicamente indeterminato (cioè esistono infinite soluzioni che soddisfano le equazioni) con grado di indeterminazione pari a:

Grado di indeterminazione = n° incognite – n° equazioni = $(2L + N - 1) - (L + N - 1) = L$

F) conclusioni

Poiché il problema è idraulicamente indeterminato, occorre avvalersi di condizioni aggiuntive (ulteriori equazioni) che non esprimono più condizioni fisiche, ma altre condizioni, ad esempio, di natura economica.

Una tipica formulazione del problema consiste nel ricercare, fra le infinite soluzioni che soddisfano il sistema formato dalle equazioni (4) e (5), quelle che, con il minimo costo, consentono di rispettare i vincoli sulle quote piezometriche.

PROCEDURA DI CALCOLO

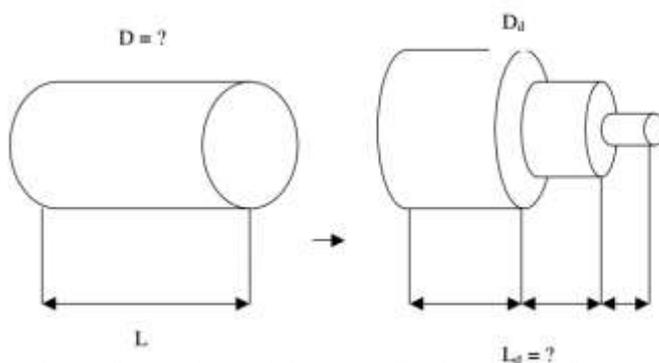
Calcolo della portata

Per il dimensionamento dell'acquedotto sono stati impiegati i dati già in possesso del Comune di Termoli. Tali dati tengono conto di una popolazione servita pari a 4.500 abitanti con una portata richiesta, all'ora di punta di circa 45,00 l/s.

Tale portata, ai fini del calcolo è stata uniformemente divisa per gli stacchi di utenza presenti lungo il percorso della condotta distributrice. In totale sono presenti n. 32 derivazioni a ciascuna delle quali, pertanto, viene assegnata una portata in uscita di circa 1,50 l/s.

Determinazione dei diametri

Una volta ottenuta la configurazione delle portate di progetto, il dimensionamento ottimale della rete è affrontato e risolto mediante programmazione lineare secondo l'impostazione di Labye (1966) basata sulla schematizzazione di ogni tronco i-esimo (di diametro incognito D_i) come una successione di R sotto-tronchi, ciascuno di diametro commerciale D_{id} prefissato e lunghezza incognita l_{id} , essendo d ($d = 1, R$) l'indice del generico sottotrancio (Figura sottostante).



Con questa schematizzazione, l'equazione del moto (5) che non è lineare rispetto alla variabile D , può essere espressa nella seguente forma lineare rispetto alle nuove incognite l_{id} :

$$\Delta H_i = \sum_{d=1}^R J_{id} l_{id} \quad (7)$$

nella quale R è il numero di diametri assegnati al tronco i-esimo e J_{id} è la cadente connessa al passaggio della prefissata portata di progetto nel d-esimo sottotrancio del tronco i-esimo.

Questo artificio consente di ricondurre la determinazione dei diametri e delle quote piezometriche incognite ad un problema di programmazione lineare in cui la Funzione Obiettivo (F.O.) da minimizzare rappresenta il costo totale della rete ed è data dalla seguente espressione, lineare rispetto alle lunghezze dei tronchi l_{id} (variabili decisionali):

$$F.O. = \sum_{i=1}^L \sum_{d=1}^R C_{id} l_{id} \quad (8)$$

e i vincoli che devono essere soddisfatti dalla soluzione ottima sono rappresentati dalle seguenti relazioni lineari:

$$\Delta H_i = \sum_{d=1}^R J_{id} l_{id}$$

$$l_i = \sum_{d=1}^R l_{id} \quad (9)$$

$$H_j - z_j \geq Y_j$$

Un pregio della metodologia descritta risiede nel fatto che essa può essere applicata considerando direttamente i diametri commerciali ad ognuno dei quali può essere attribuito un qualsiasi costo e una qualsiasi formula di resistenza.

Ciò permette di considerare reti costituite da materiali diversi e di tenere conto di particolari condizioni che possono rendere anomala la funzione costo.

La gamma dei diametri commerciali ai quali va estesa la ricerca per ogni tronco può essere controllata ed eventualmente limitata imponendo opportuni limiti al campo delle velocità ammissibili nella condotta. Va, peraltro, segnalato che la scelta di un intervallo di velocità ammissibile troppo stretto, oltre a comportare il rischio di un dimensionamento non ottimale sul piano economico, potrebbe dar luogo ad un problema che non ammette soluzione; ciò può verificarsi o perché il limite minimo di velocità è troppo alto per consentire di rispettare i vincoli di quota piezometrica minima, o perché, nel caso in cui alcuni nodi siano alimentati da tronchi diversi, non esiste alcuna configurazione di diametri possibili che consenta di rispettare la condizione di unicità della quota piezometrica nei nodi.

Quando invece il problema ammette soluzione, la soluzione ottimale assegna un unico diametro ad un

numero di tronchi almeno pari al numero dei nodi a quota piezometrica incognita e non vincolata, mentre i rimanenti tronchi vengono spezzati in un numero massimo di due sottotronchi i cui diametri sono in generale consecutivi nella serie commerciale assegnata.

La soluzione di minimo costo, ottenuta minimizzando con la programmazione lineare la F.O. (8) nel rispetto dei vincoli (9), assegna i valori dei diametri ai tronchi della rete caratterizzati da una portata di progetto non nulla. Poiché, però, devono essere dimensionati anche i tronchi ai quali nella prima fase della procedura è stata definita una portata di progetto nulla (e quindi esclusi dal calcolo mediante PL), il programma di calcolo assegna a questi tronchi un valore del diametro pari al valore minimo ammesso dal progettista.

E' opportuno sottolineare che l'aggiunta di questi tronchi alla rete ottimale dimensionata con la PL, pur conferendo alla rete un certo grado di ridondanza, altera la distribuzione delle portate rispetto a quella di progetto e ciò può comportare che, localmente (in qualche nodo), le pressioni vengano abbassate assumendo valori non conformi ai valori minimi accettabili.

Ciò può essere evidenziato mediante un calcolo di verifica idraulica, che il programma consente di eseguire e che è sempre opportuno effettuare per validare il dimensionamento ottenuto o per evidenziare la necessità di qualche aggiustamento.

Di seguito si riportano i dati di input del programma:

NODI

NODO	Tipo	Q (l/s)	Z (m)
1	Alimentazione	45	3.4
5	Giunzione	1,5	9.88
6	Giunzione	1,5	11.85
7	Giunzione	1,5	11.64
8	Giunzione	1,5	11.36
9	Giunzione	1,5	11.08
10	Giunzione	1,5	10.76
11	Giunzione	1,5	10.44
12	Giunzione	1,5	10.1
13	Giunzione	0	10.33
14	Giunzione	1,5	11.1
15	Giunzione	0	11.3
16	Giunzione	6	10.49
17	Giunzione	1,5	8.95
18	Giunzione	1,5	7.89
19	Giunzione	1,5	7.2

20	Giunzione	1,5	7.86
21	Giunzione	1,5	9.26
22	Giunzione	1,5	9.64
23	Giunzione	1,5	10.4
24	Giunzione	0	10.16
25	Giunzione	0	10.04
26	Giunzione	0	10.03
27	Giunzione	1,5	9.82
28	Giunzione	1,5	9.46
29	Giunzione	1,5	9.31
30	Giunzione	0	9.07
31	Giunzione	1,5	8.35
32	Giunzione	0	7.98
33	Giunzione	0	7.83
34	Giunzione	0	6.97
35	Giunzione	0	6.82
36	Giunzione	0	6.75
37	Giunzione	1,5	6.28
38	Giunzione	0	6.24
39	Giunzione	0	6.17
40	Giunzione	0	5.65
41	Giunzione	0	5.23
42	Giunzione	0	4.6
43	Giunzione	0	4.74
44	Giunzione	1,5	6.31
45	Giunzione	1,5	8.18
46	Giunzione	0	9.51
47	Giunzione	0	9.8
48	Giunzione	0	11.8
49	Giunzione	1,5	11.54
50	Giunzione	1,5	7.42
51	Giunzione	1,5	6.95
52	Giunzione	1,5	4.3
53	Giunzione	1,5	3.6

TRONCHI

TRONCO	DA NODO	A NODO	L (m)
1	1	5	450,00
2	5	6	116,40
2	6	7	60,20
3	7	8	77,80
4	8	9	79,70
5	9	10	92,40
6	10	11	85,80
7	11	12	95,80
8	12	13	52,16
9	13	14	185,70
10	14	15	48,10
11	15	16	88,50
12	16	17	168,80
13	17	18	116,50
14	18	19	75,10
15	19	20	92,70
16	20	21	198,70
17	21	22	59,20
18	22	23	101,30
19	23	24	68,60
20	24	25	14,60
21	25	26	7,00
22	26	27	66,50
23	27	28	110,10
24	28	29	41,20
25	29	30	69,30
26	30	31	203,00
27	31	32	103,10
28	32	33	43,50
29	33	34	243,30
30	34	35	43,70
31	35	36	19,60
32	36	37	131,80
33	37	38	12,00
34	38	39	18,90
35	39	40	146,80
36	40	41	119,80

37	41	42	177,90
38	42	43	11,50
39	43	44	107,70
40	44	45	130,80
41	45	46	92,80
42	46	47	20,30
43	47	48	139,50
44	48	49	21,80
45	49	50	342,10
46	50	51	39,40
47	51	52	220,00
48	52	53	181,40

Il modello idraulico adottato dal programma opera su uno schema di rete descritto attraverso due tipi di elementi: nodi e tronchi.

In particolare, i nodi di alimentazione sono trattati come nodi a quota piezometrica assegnata. Le portate di alimentazione possono essere libere (in questo caso sono calcolate dalla procedura di calcolo in modo da minimizzare i percorsi dell'acqua all'interno della rete), oppure possono essere vincolate ad assumere valori prefissati o a non superare valori prefissati.

Il calcolo di progetto e/o di verifica è effettuato sulla base di un'unica configurazione di portate erogate all'utenza che può essere eventualmente variata, da un calcolo all'altro, attraverso un coefficiente moltiplicativo.

La formula di resistenza impiegata è monomia, del tipo:

$$\Delta H = b \frac{q^a}{D^d} l$$

I coefficienti e gli esponenti della formula precedente sono indicati nella tabella seguente:

Formula	Tipo di materiale	b	a	d
De Marchi-Marchetti	Acciaio con rivestimento bituminoso interno a spessore	0,000983	1,81	4,80
Scimemi-Veronese	Acciaio senza saldatura semplicemente bitumato DN \leq 400 mm	0,001456	1,82	4,71
Orsi	Acciaio saldato semplicemente bitumato DN \leq 400 mm	0,000986	1,83	4,87
Scimemi	Fibrocemento e ghisa sferoidale con rivestimento interno cementizio	0,000984	1,78	4,78
Datei-Marzolo	PVC – PEad – PRFV	0,000944	1,80	4,80

Le perdite di carico calcolate con tutte le formule di resistenza sopra indicate possono essere amplificate attraverso un opportuno coefficiente. Si utilizza in genere questo coefficiente per tenere conto del deterioramento delle proprietà idrauliche dovuto all'invecchiamento delle tubazioni, oppure della necessità di inglobare nelle perdite di tipo continuo eventuali perdite di carico localizzate causate dalla presenza di singolarità (allacciamenti, saracinesche, pezzi speciali) lungo lo sviluppo della condotta. A questo coefficiente moltiplicativo può essere assegnato un valore diverso a ciascun tronco.

Le modalità sopradescritte per il calcolo delle resistenze idrauliche possono essere utilizzate sia nella fase di dimensionamento, che in quella di verifica.

Nel caso specifico, si è impiegata la formula di Datei-Marzolo, specifica per le tipologie di condotte previste (PeAD) e non è stato applicato alcun coefficiente amplificativo, ritenendo già di aver considerato l'invecchiamento delle tubazioni, essendo stato incrementato del 10% il valore delle portate di progetto per tener conto di eventuali future perdite.

VERIFICA

Etichetta	Q [l/s]	z [m]	H [m]	Pmin [m]	P [m]	Verifica
1	-48.00	3.40	55.00	***	51.60	***
5	1.50	9.88	53.00	15.00	43.12	OK!
6	1.50	11.85	52.64	15.00	40.79	OK!
7	1.50	11.64	52.46	15.00	40.82	OK!
8	1.50	11.36	52.25	15.00	40.89	OK!
9	1.50	11.08	52.04	15.00	40.96	OK!
10	1.50	10.76	51.82	15.00	41.06	OK!
11	1.50	10.44	51.62	15.00	41.18	OK!
12	1.50	10.10	51.42	15.00	41.32	OK!
13	0.00	10.33	51.32	15.00	40.99	OK!
14	1.50	11.10	50.95	15.00	39.85	OK!
15	0.00	11.30	50.87	15.00	39.57	OK!
16	6.00	10.49	50.70	15.00	40.21	OK!
17	1.50	8.95	50.49	15.00	41.54	OK!
18	1.50	7.89	50.35	15.00	42.46	OK!
19	1.50	7.20	50.27	15.00	43.07	OK!
20	1.50	7.86	50.12	15.00	42.26	OK!
21	1.50	9.26	49.83	15.00	40.57	OK!
22	1.50	9.64	49.76	15.00	40.12	OK!
23	1.50	10.40	49.64	15.00	39.24	OK!
24	0.00	10.16	49.58	15.00	39.42	OK!
25	0.00	10.04	49.56	15.00	39.52	OK!
26	0.00	10.03	49.56	15.00	39.53	OK!
27	1.50	9.82	49.49	15.00	39.67	OK!
28	1.50	9.46	49.40	15.00	39.94	OK!
29	1.50	9.31	49.37	15.00	40.06	OK!
30	0.00	9.07	49.03	15.00	39.96	OK!
31	1.50	8.35	48.03	15.00	39.68	OK!
32	0.00	7.98	47.61	15.00	39.63	OK!
33	0.00	7.83	47.44	15.00	39.61	OK!
34	0.00	6.97	46.47	15.00	39.50	OK!
35	0.00	6.82	46.30	15.00	39.48	OK!
36	0.00	6.75	46.22	15.00	39.47	OK!
37	1.50	6.28	45.69	15.00	39.41	OK!
38	0.00	6.24	45.65	15.00	39.41	OK!
39	0.00	6.17	45.59	15.00	39.42	OK!
40	0.00	5.65	45.13	15.00	39.48	OK!
41	0.00	5.23	44.76	15.00	39.53	OK!
42	0.00	4.60	44.20	15.00	39.60	OK!
43	0.00	4.74	44.16	15.00	39.42	OK!
44	1.50	6.31	42.11	15.00	35.80	OK!
45	1.50	8.18	40.21	15.00	32.03	OK!
46	0.00	9.51	39.25	15.00	29.74	OK!
47	0.00	9.80	39.03	15.00	29.23	OK!
48	0.00	11.80	37.58	15.00	25.78	OK!
49	1.50	11.54	37.35	15.00	25.81	OK!
50	1.50	7.42	34.97	15.00	27.55	OK!
51	1.50	6.95	34.80	15.00	27.85	OK!
52	1.50	4.30	34.36	15.00	30.06	OK!
53	1.50	3.60	34.26	15.00	30.66	OK!

Procedendo con il calcolo sono stati determinati i diametri per i vari tratti di condotta. Tali diametri sono stati ottimizzati ed uniformati, prevedendo di impiegare una condotta in PeAD PE100, con d.e. 280 mm dalla sezione 3 alla 19, d.e. 250 mm dalla sezione 20 alla 29, d.e. 160 mm dalla sezione 30 alla 43 e d.e. 110 mm dalla sezione 44 alla 53.

Eseguendo la verifica si ottiene per ciascun nodo un valore di pressione superiore a quello minimo imposto (15 m) e valori di velocità del fluido compresi nel range canonico e prestabilito di 0,50-2,00 m/s.

IL TECNICO

ing. Marco MANES