

ESPERIENZE DI SIMULAZIONE CON ELABORATORE ELETTRONICO
DI SISTEMI IDRICI URBANI

Ignazio MANTICA - Giuseppa RIBIGHINI
Facoltà di Ingegneria - Università di Ancona

Sommario

Gli A.A. espongono i risultati di alcune esperienze di simulazione su reti idriche reali eseguite con il modello da essi stessi proposto nel 1979 e le modifiche ad esso apportate.

Si è constatato che il metodo matematico adottato può portare a soluzioni algebriche non rispondenti alla realtà fisica del fenomeno per cui è stato necessario per superare l'ostacolo aggiustare la sintetizzazione della rete acquedottistica.

Gli A.A. si propongono però di studiare e provare algoritmi diversi che superino il fenomeno di soluzioni non gradite senza il ricorso a ritocchi della sintetizzazione grafale.

Viene fatto anche cenno ad una linea di ricerca per la simulazione della rete fognaria, che si basa sulla loro sintesi grafale e sulla integrazione alle differenze finite in forma esplicita della equazione di De Saint Venant, ritenendo in particolare che, data la estrema piccolezza degli intervalli temporali interessanti i fenomeni del deflusso fognario, possa essere verificata la condizione di Courant e quindi si possa procedere al su accennato tipo di integrazione.

Abstract

The A.A. show the results of some experiences of simulation on real water-systems executed according to the model that they just proposed in 1979 and the changes they made in it.

They have observed that the adopted mathematic method can produce algebraical solutions not corresponding to the physical reality of the phenomenon therefore, in order to overcome the ostacle, it was necessary to adjust the syntetization of the aqueduct net.

The A.A., however, hope to study and try different algorithma that overcome the phenomenon of unaccepted solutions without the resort to alterations of the graphal syntetization.

They have also spoken of a search-line for the simulation of the drainage-system that is based on their graphal syntesis and on the integration to the finished differences in explicit form of De Saint Venant's equation, particularly considering that given the extreme smableness of the temporal intervals which interest the phe nomenon of the strainage-defluction, Courant's contidion may be verified and so that the above mentioned type of integration may be

Sistemi acquedottistici

1. In questo lavoro vengono esposti i risultati di alcuni tentativi di simulazione di reti acquedottistiche urbane ad anello, ottenuti recentemente dagli A.A. utilizzando il modello proposto [1] nel 1979.

Tale modello, che traduce algebricamente la rete acquedottistica in una matrice di incidenza di un grafo orientato, permette di tener conto, oltre che della variabile tempo, anche di:

- a) presenza, lungo i rami delle maglie, di distribuzione lungo il percorso;
- b) presenza di perdite di carico concentrate (dovute a strozzature di saracinesche o a valvole regolatrici di carico);
- c) possibilità di alimentazione della rete mediante pompe;
- d) presenza di serbatoi sussidiari di rete (cioè alimentati ed alimentanti, a seconda della piezometria, direttamente dalla distribuzione);
- e) manovre gestionali tramite apertura e chiusura di alcune saracinesche;
- f) verifica, durante la simulazione, della risposta del sistema all'eventuale introduzione di un nuovo lato.

Il modello è stato provato per la rete media dell'acquedotto di Ancona, che serve circa 45.000 abitanti, e per la rete di Pianella, piccolo centro di 2.500 abitanti nel Pescarese.

2. Come è noto il metodo si basa sulla successiva risoluzione della:

$$AYA^T H = AG - 0.55 DG - Q - AY \left(A_n^T H_n^T + E \right) \quad (1)$$

dove:

A è una matrice topologica booleana che identifica il collegamento tra nodi e lati del sistema, il cui generico A_{ij} è così definito:

$A_{ij} = 0$ se non esiste connessione tra i e j,

$A_{ij} = \pm 1$ se esiste il collegamento (si adotterà il segno positivo se, conven

zionalmente, si prefigge un percorso uscente dal nodo, negativo nel caso opposto).

D è ancora una matrice definita dalle:

$$D_{ij} = 0 \quad \text{se } A_{ij} \neq 1$$

$$D_{ij} = 1 \quad \text{se } A_{ij} = 1$$

G è un vettore delle portate fittizie definite dalla relazione scalare:

$$G_j = p_j L_j$$

con:

p vettore delle portate erogate per unità di percorso,

L vettore delle lunghezze degli archi.

E è un vettore contenente la somma delle perdite di carico concentrate in uno o più punti dello stesso arco.

Q è un vettore contenente le portate uscenti ed entranti dalla rete in ciascun nodo.

Y è una matrice diagonale contenente portate "fittizie" per unità di perdita di carico definite dalle relazioni scalari

$$Y_{jj} = y_j h_j^{q-1} \quad \text{con } q = 1/m \quad (2)$$

y è il vettore delle portate per unità di perdita di carico, il cui generico elemento è:

$$y_j = \left[\frac{d_j^n}{b_j L_j} \right]^{1/m} \quad (3)$$

dove m ed n sono, rispettivamente, gli esponenti di q e d nella nota formula:

$$J = b q^m / d^n \quad (4)$$

(ovviamente in termini scalari) che lega la pendenza piezometrica alle portate nel moto turbolento.

H è il vettore delle altezze piezometriche

$$z + p / \gamma$$

misurate nei nodi a partire da un qualunque piano orizzontale, prefissato, di riferimento;

ottenuta partendo dall'equazione di continuità e dall'equazione del moto scritte rispettivamente nella forma:

$$\left| \frac{Q}{Q_n} \right| + \left| \frac{A}{A_n} \right| q + \left| \frac{D}{D_n} \right| G = 0 \quad (5)$$

e

$$q = Y (A_n^T + A_n^T H_n + E) - 0.55 G \quad (6)$$

Nel precedente lavoro si era prevista la linearizzazione del sistema in armonia con quanto proposto da Curto e altri [2], tramite un'inizializzazione consistente nel porre nelle (2)

$$h = 1 \quad (7)$$

Successivamente questa è stata modificata tramite la posizione:

$$h_i = 0.002 L_i \quad (8)$$

che, in alcuni casi di verifica nei quali la (7) non aveva avuto successo, si è dimostrata più efficiente.

La quasi totalità delle grandezze che compaiono nella (1) e che sono anche funzione del tempo, vengono introdotte nella stessa:

- a) se note, con il valore medio assunto nell'intervallo di tempo esaminato; è il caso di G e Q;
- b) se incognite, come le H_n relative ai serbatoi, tramite il ricorso alle espressioni temporali, previa loro riduzione alle differenze finite in forma esplicita.⁽¹⁾

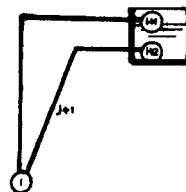
3. Il programma di calcolo iniziale è stato ampliato inserendovi la possibilità di eliminare il collegamento tra due nodi (chiusura di una saracinesca) e poi di ripristinarlo (apertura della saracinesca).

Si è inoltre prevista la possibilità di introduzione ex novo di un ulteriore lato tra i nodi preesistenti.

(1)

Nel caso dei serbatoi infatti tale espressione, con riferimento alla figura a lato, è:

$$H_{i+2}^n = H_{i+1}^n + \frac{\Delta t}{S_{i+2}} \left[q_i^{n-1} + p_i^{n-1} L_i - (q_{i-1}^{n-1} + p_{i-1}^{n-1} L_i) \right]$$



4. Una delle reti sperimentate, senza dubbio quella di maggior interesse perchè la più ampia, è stata la rete media dell'acquedotto di Ancona che serve 45.000 abitanti.

Una limitazione inizialmente postata fu quella di trascurare le condotte di diametro inferiore agli 80 mm.

Ne è risultato il grafo di figura 1.

Il modello ha però manifestato già in fase di verifica alcune soluzioni non rispondenti al sistema idraulico.

Si è pertanto provveduto a semplificare il modello al fine di ovviare all'inconveniente.

Tale operazione è stata condotta per tentativi in fasi successive.

La figura 2 illustra sinteticamente tali tentativi, mentre la figura 3 mostra il grafo finale sul quale si sono avuti risultati di verifica e di simulazione soddisfacenti.

Nelle successive semplificazioni del modello, non tutte strettamente necessarie, sono stati eliminati (o diversamente sintetizzati) anelli interni con uno od al più due collegamenti con la rimanente rete. In essi il modello calcolava portate fluenti molto più elevate di quelle complessivamente entranti nell'anello stesso e quindi con evidente incongruenza idraulica, anche se ovviamente risultano verificate le equazioni di continuità. Di conseguenza risultano alterate anche le quote piezometriche ai nodi dei lati interessati a tale errata soluzione.

Stiamo ora indagando sulle possibilità di eliminare i detti inconvenienti o con appositi vincoli o con differenti inizializzazioni del sistema.

E' tuttavia da osservare che nonostante la soluzione ottenuta con gli schemi precedenti quello di figura 3 fosse non globalmente valida, tuttavia tale limitazione era circoscritta alle sole maglie interessate al fenomeno dianzi esposto, mentre i risultati erano soddisfacenti per le altre maglie, non differendo sostanzialmente da quelli poi ottenuti con lo schema di figura 3.

Questo dopo aver dato soddisfacenti risultati di verifica è stato sottoposto a procedimento di simulazione per un intervallo di tempo di 10 ore.

La simulazione è stata eseguita sull'elaboratore CDC 7600 del CINECA di Casalecchio di Reno nel tempo di 365 secondi, pertanto con tempi utili per sugge-

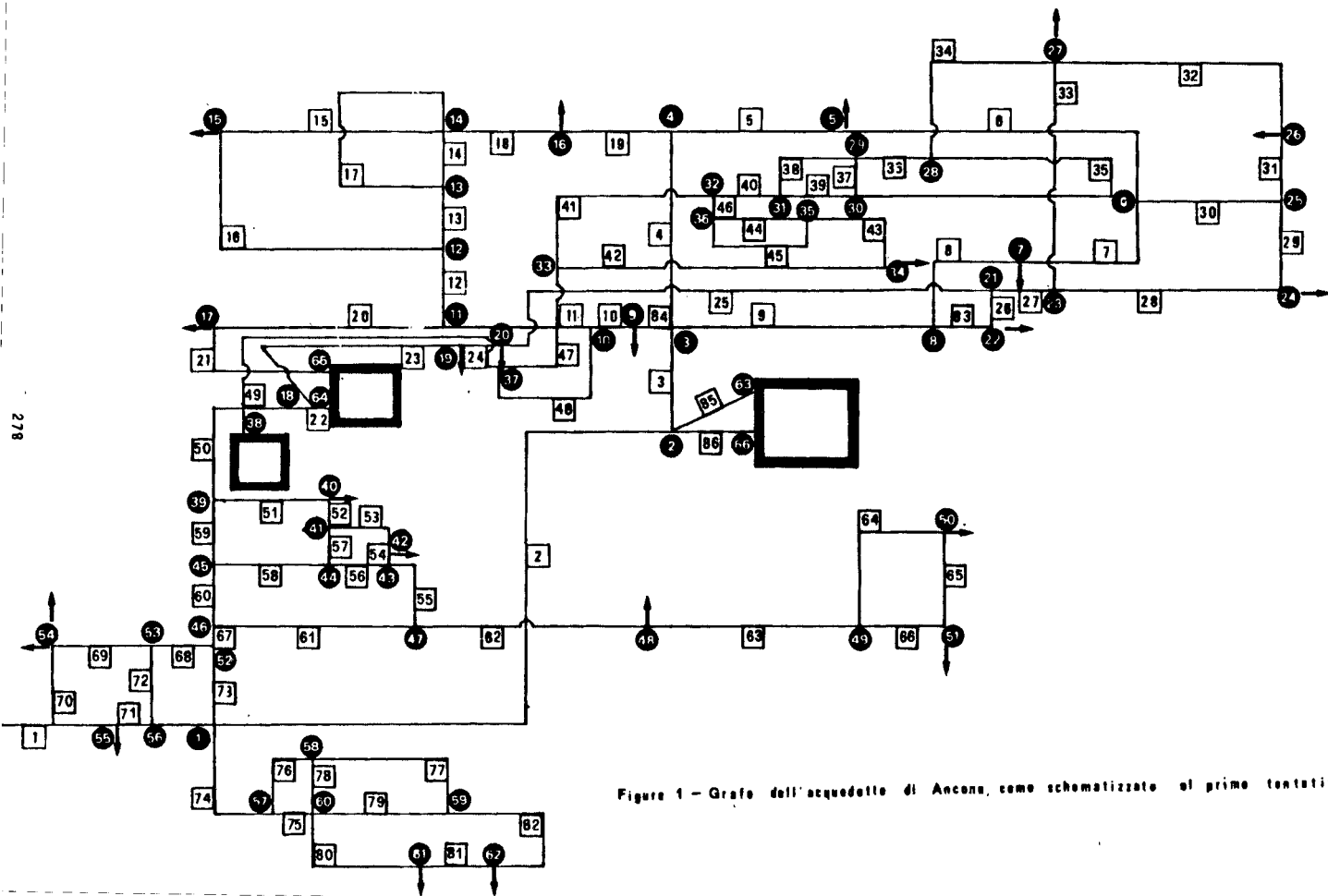


Figure 1 - Grafo dell'acquedotto di Ancona, come schematizzato al primo tentativo

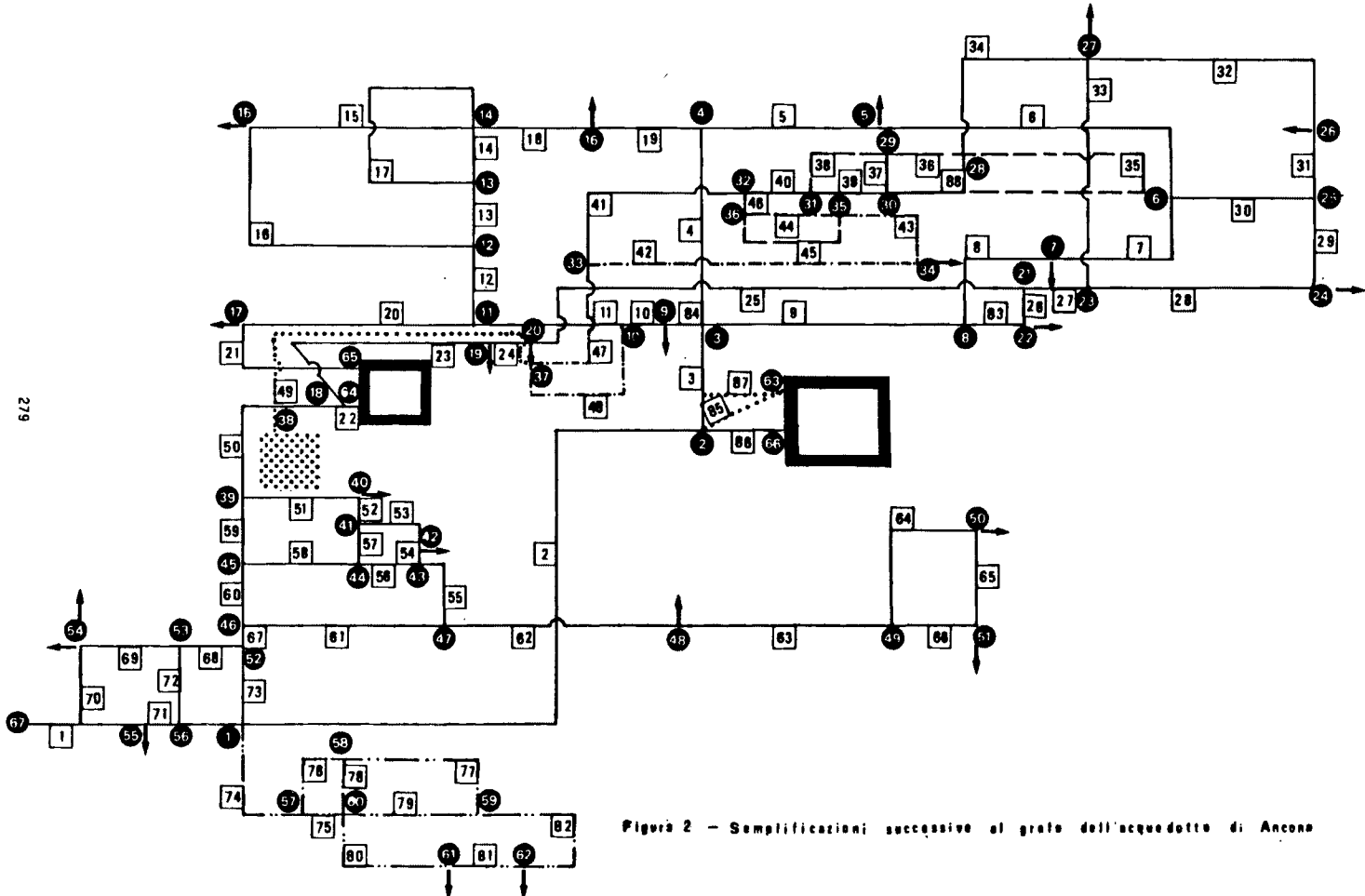


Figura 2 - Semplificazioni successive al grato dell'acquedotto di Ancona

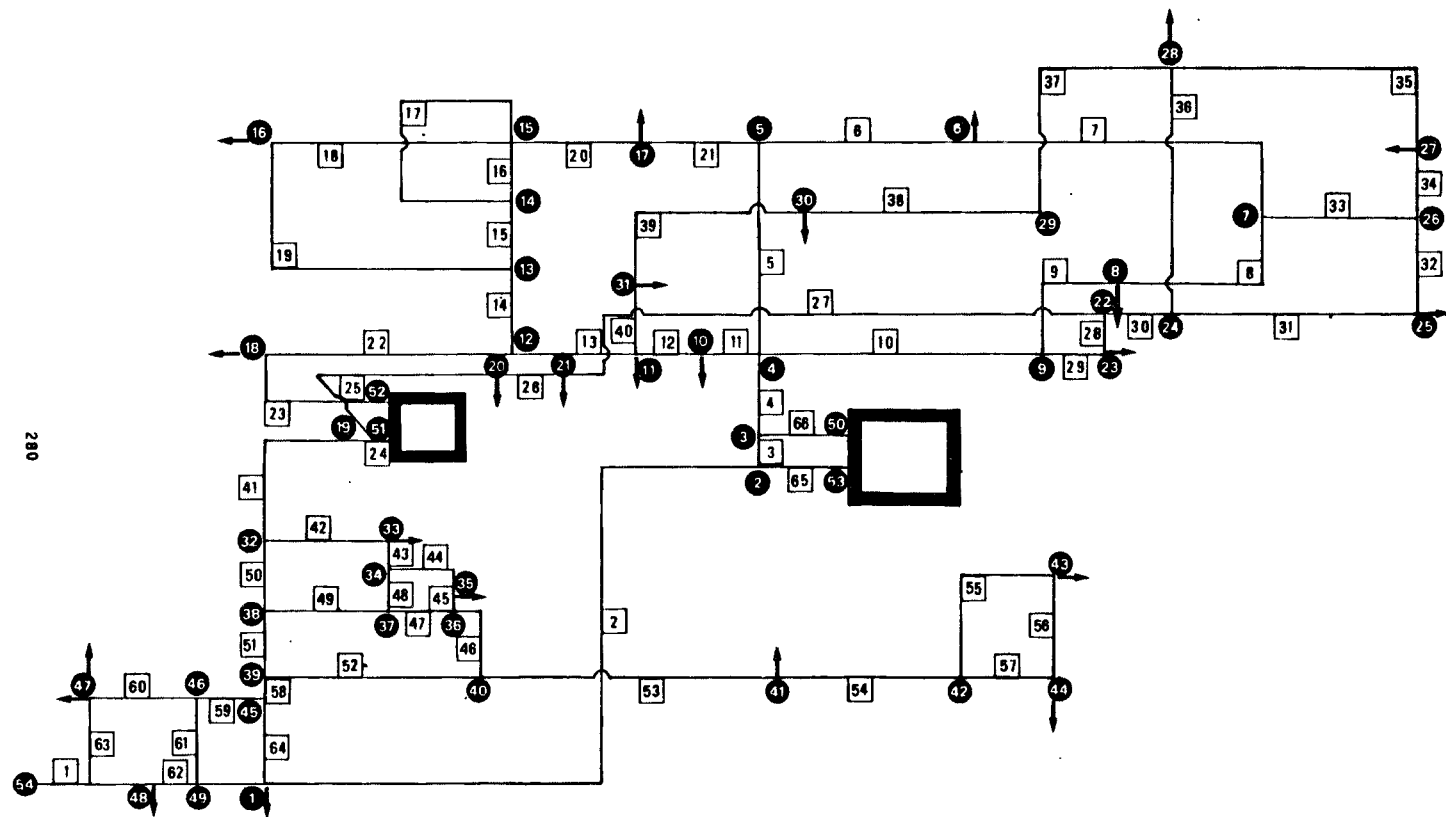


Figura 3 - Grafo finale dell'acquedotto di Ancona

rire eventuali manovre gestionali.

Mancano purtroppo i confronti con la realtà, essendo difficile la conoscenza dell'effettivo comportamento della rete reale per la mancanza di strumenti di misura di portata e di pressione, per cui risulta allo stato attuale impossibile procedere alla taratura del modello.

I dati di input infatti sono stati sino ad ora valutati tramite la densità di popolazione delle singole zone e i rapporti complessivi del consumo orario sul giornaliero.

Con il finanziamento CNR 81.02537.07 recentemente ottenuto si ha intenzione di installare sulla rete di un piccolo centro, in corso di realizzazione ex novo e dotata di telecomando e telecontrollo, gli idonei strumenti di misura (venturimetri e manometri) che potranno permettere la taratura del modello.

Studi sulla possibilità di simulazione delle reti fognarie

5. Partendo dall'esperienza acquisita con il modello relativo agli acquedotti, e di cui più sopra, e con quella maturata nello studio della idrodinamica dei corsi d'acqua naturali [3], ci si propone di realizzare un modello matematico di simulazione delle fognature, tale quindi da permettere la conoscenza a priori del comportamento della rete fognaria quando la si sottoponga a vari tipi di sollecitazione (cioè a diverse distribuzioni spaziali e temporali di pioggia. Tenendo conto che una rete fognaria si può facilmente identificare con una matrice booleana, come fatto per gli acquedotti, e con riferimento allo schema di figura 4, la matrice booleana sarà:

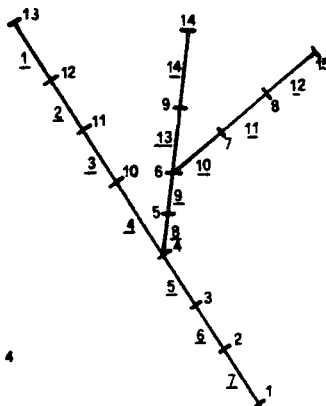


Figura 4

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 |

dove la parte inferiore contiene gli elementi relativi ai nodi terminali di monte. Ogni tratto dovrà avere sezione e pendenza costanti nonché un unico valore della portata q scalante dall'esterno verso la rete. Ogni tratto potrà a sua volta essere suddiviso in tratti più piccoli e tale suddivisione dovrà risultare nella matrice booleana. Tuttavia la suddivisione non dovrà essere oltremodo spinta in quanto dovrà permettere la verifica della successiva condizione (10). Infatti in ciascun lato il moto vario può essere notoriamente simulato tramite le equazioni di De Saint Venant:

$$\Omega \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega}{\partial x} - q = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = i - j \quad (9)$$

che, una volta integrate con la tecnica delle differenze finite, tramite un metodo di tipo esplicito, richiedono la verifica della condizione di Courant [4]

$$0 < r = \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (10)$$

cioè una discretizzazione temporale basata su t estremamente contenuti. Ma mentre questo può creare, come facilmente intuibile, problemi per l'idrodinamica dei corsi d'acqua superficiali così che si è costretti a ricorrere a metodi impliciti [5], tale problema non si presenta per le fognature perchè qu

i t sono necessariamente molto piccoli ed il fenomeno si esaurisce in archi di tempo contenuti.

Si possono definire poi due matrici distinte A' e A'', dello stesso ordine della A, e tali che:

$$a'(i,j) = 1 \quad \text{se } a(i,j) = 1$$

ed

$$a'(i,j) = 0 \quad \text{se } a(i,j) \neq 1$$

e che

$$a''(i,j) = -1 \quad \text{se } a(i,j) = -1$$

ed

$$a''(i,j) = 0 \quad \text{se } a(i,j) \neq -1$$

ed ancora due vettori $|QM|$ e $|QV|$ di tanti elementi quanti i lati, ciascuno contenenti rispettivamente la portata entrante e quella uscente, nonché un vettore $|Q_e|$ di tanti elementi quanti i nodi, contenente le eventuali portate entranti direttamente nei nodi della rete. In queste ipotesi la continuità ai nodi sarà espressa dalla:

$$|A'| |QV| + |A''| |QM| + |Q_e| = 0 \quad (11)$$

Il sistema algebrico costituito dalla (11) e dalle (9) discretizzate non è tuttavia ancora definito, necessitando allo scopo la conoscenza e delle condizioni iniziali, cioè i valori delle altezze d'acqua e delle velocità (o della portata all'istante iniziale) e delle condizioni al contorno, cioè dei valori di altezze d'acqua e di portata nelle sezioni terminali in ciascuno degli intervalli di tempo della simulazione; è questo un aspetto ancora in fase di studio.

Il modello attualmente in fase di redazione si baserà infatti su condizioni al contorno di prova. Una volta messo a punto il modello si ha intenzioni di passare allo studio più particolareggiato di dette condizioni al contorno.

Ovviamente le condizioni iniziali, almeno in questa fase, non rappresentano un problema potendo assumere come tale o la rete fognaria scarica o in condizioni di moto permanente.

Altro aspetto che per il momento non verrà trattato è quello relativo alla eventuale presenza di salti di fondo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MANTICA I. - RIBIGHINI G.
Modello matematico per le reti di distribuzione degli acquedotti urbani ad anello.
Il problema della simulazione durante l'esercizio.
Il Giornale del Genio Civile n. 4-5-6 - 1979
- [2] CURTO C. - CUSIMANO M. - NOBILI G.
Un nuovo procedimento di calcolo automatico per la verifica delle reti idrauliche in pressione.
XV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma 1976
- [3] MANTICA I. - OLIVETTI M. - RIBIGHINI G.
Flood routing simulation in Aterno-Pescara river.
International Symposium on River Engineering and its interection with Hydraulic and Hydrological Research, Belgrade (Y) - 1980
- [4] AMES W.F.
Numerical methods for paryial differentia equations.
Academic Press, 1977
- [5] AMESIN M. - FANG S.
Implicit flood routing in natural channels.
A.S.C.E. - H.D. , 1969