

FEDERAZIONE ITALIANA GRES
CERAMICO

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI
MACERATA

Giornata di studio su:

LE FOGNATURE

Aspetti Progettuali, esecutivi e di scelta dei materiali
Progress per la progettazione computerizzata

Ignazio Mantica*

I METODI DI VERIFICA DELLE FOGNATURE PLUVIALI

Confronto tra metodi

Macerata 8/10/1992

* Professore di ruolo di Costruzioni Idrauliche e professore supplente di Ingegneria Sanitaria ed Ambientale presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona,.

INDICE

1.	Premesse	3
2.	I metodi di verifica delle fognature pluviali	4
2.1	Sottomodelli di Input.....	7
2.1.2	Modelli a input differenziato o uniforme nello spazio	8
2.1.3	letogrammi reali e sintetici	9
2.2	Sottomodelli di depurazione (piogge depurate dalle perdite)	9
2.2.1	Sottomodelli di infiltrazione	10
2.2.2	Sottomodelli relativi al trattenimento da parte delle depressioni superficiali	13
2.3	Sottomodelli di scorrimento superficiali.....	14
2.3.1	Sottomodelli fisicamente basati " Idraulici"	15
2.3.2	Sottomodelli concettuali	18
2.4	Sottomodelli di propagazione nei collettori	18
2.3.2	Sottomodelli idraulici cioè fisicamente basati	20
2.3.2.1	Sottomodelli idraulici per moto a superficie libera	20
2.3.2.2	Sottomodelli idraulici per moto in pressione	24
2.3.2.3	Condizioni ai nodi	25
2.3.3	Sottomodelli idrologici	26
2.4	Utilizzo dei un modelli	28
2.5	Note conclusive sui modelli e schede dei modelli più diffusi	29

1. Premesse

Quando gli amici della Federceramica mi hanno chiesto di partecipare all'odierno incontro proponendomi quale tema del mio intervento un confronto tra:

- il metodo della corrivazione;
- il metodo dell' invaso

ho accettato di buon grado. Ciò non soltanto per il piacere di ritrovarmi con alcuni amici, anche di vecchia data, ma soprattutto perché il tema che mi è stato proposto e che dovrebbe per certi versi essere obsoleto, invece è tuttora attuale.

L'attualità è dimostrata, tra l'altro, appunto dalla stessa richiesta di trattare l' argomento che mi è stato proposto, avanzata da alcuni consiglieri dell' Ordine professionale che ci ospita.

Ritengo che ancor prima di entrare nel merito, tali mie parole meritino un' approfondimento.

Schematizziamo il sistema fisico nel quale va ad inserirsi il complesso fognario pluviale

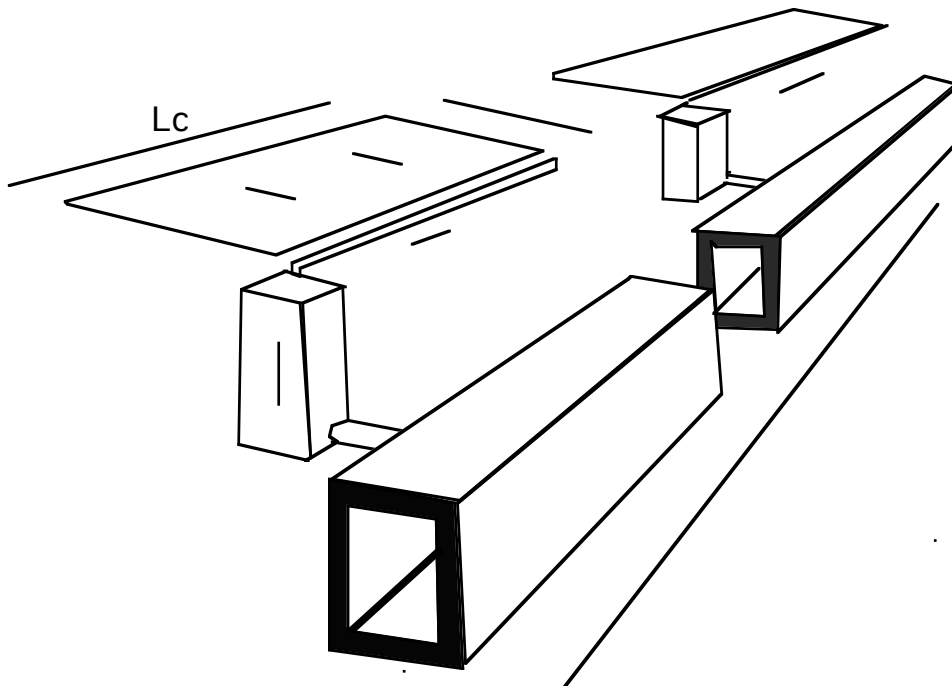


Fig 1 Schema elementare di deflusso fognario
da Greco Nola Rasulo- Idrologia Urbana- Bios, Cosenza, 1988

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

L'acqua di origine meteorica cade su strade, tetti, terrazze, cortili, giardini, campi, ecc..... e scorre quella che si infiltra là dove é possibile tale fenomeno, l'altra scorre per via superficiale lungo le linee di massima pendenza ai più prossimi (idraulicamente) collettori che, a loro volta, la convogliano in altri e così via sino al deflusso nei canali fognari.

Tale fenomenologia, matematicamente complessa, potrebbe tuttavia essere descritta con sufficientemente approssimazione dal sistema delle seguenti leggi:

- delle piogge;
- dell' infiltrazioni;
- del moto;
- della continuità

purtroppo non tutte queste leggi sono ben note (in specie le prime due) e poi, quand'anche essere fossero note (equazione del moto ed equazione di continuità) non sempre é facile schematizzare la geometria di dominio e le condizioni al contorno, connesse con le dette leggi.

Infatti mentre é relativamente facile applicare l'equazione di continuità ad un canale artificiale (per esempio ad un collettore fognario) , ben più difficile é la sua applicazione all' insieme di estensioni superficiali (tetti, terrazzi, strade, ecc.....) dalle quali ha inizio il moto terrestre delle acque da convogliare nel sistema fognario.

Da qui la necessità, anche oggi cioè nell' era dei computers, di semplificazione dell' approccio calcolistico.

Infatti nonostante il lungo tempo ormai trascorso dalla proposizione dei primi metodi, che potremmo definire moderni, per la verifica delle fognature (Domenico Turazza, 1877) e le molte maggiori informazioni che si possegono sui vari aspetti del fenomeno dei deflussi urbani ed i molti e più potenti modelli e mezzi di calcolo disponibili, siamo ancora ben lungi da risoluzioni e metodologie di calcolo soddisfacenti sia dal punto di vista della bontà dell' output che da quello della semplicità d'utilizzo.

2. I metodi di verifica delle fognature pluviali

Agli schemi classici, noti come:

- metodo dell' invaso;

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

- metodo della corrivazione

che richiedono che a monte della loro applicazione sia nota sia le legge delle piogge che quella delle infiltrazione e (l'invaso) un pre-dimensionamento della rete, se ne sono aggiunti altri, dei quali é necessario non solo prendere atto dell' esistenza, ma conoscerle, ove il caso, adottarli.

A tal proposito va citato lo schema di Caquot (1940) usato oltr'alpe e soprattutto i più recenti modelli matematici che analizzano il fenomeno nel suo complesso (o o almeno più ad esso si approssimano).

Purtroppo, come sempre accade quando un problema non é risolto definitivamente, dello stesso esistono tante proposte di soluzione, nessuna delle quali é invero del tutto soddisfacente ma invece ciascuna ha alcuni aspetti più positivi ed altri meno.

Il Mignosa conscio di tale situazione, nella sua relazione al Seminario sui deflussi urbani tenutosi a Camigliatello Silano nel 1987 così si esprimeva " non è affatto facile fornire un quadro completo, e nel contempo organico, di tutti i modelli esistenti nel mondo"

"Alcuni pregevoli articoli in questo senso sono senz'altro la relazione generale tenuta dal prof. B.C. Yen al Convegno di Dubrovnik dell'86; i primi capitoli, dovuti allo stesso Yen, del Volume 14 di Advances in Hydroscience (1986) e le relazioni generali tenute dal prof. Cao e dal prof. Paoletti al Convegno di Idraulica e Costurzioni Idrauliche di Padova (sempre del 1986)"

Già tentare una classificazione dei modelli é arduo infatti si possono prendere a base vari criteri, quali ad esempio :

- il problema specifico che si prefiggono di risolvere;
- il tipo di impostazione matematica adottata
- il tipo di calcolatore necessario per la loro implementazione

Yen fornisce le seguente possibilità di classificazione dei modelli:

A. Scopo del modello	a) progetto: b) simulazione c) gestione ottimale d) controllo delle piene e) controllo degli inquinanti	- progetto idraulico - ottimizzazione - analisi del rischio
B. Input del modello	a) singolo evento b) simulazione continua	
C. Approccio teorico	a) deterministico b) probabilistico c) puramente statistico d) stocastico	
D. Approccio metodologico	a) modelli globali b) modelli distribuiti	
E. Approccio fisico	a) idrologico (equazione di conservazione + legame concettuale) b) idraulico (equazioni di conservazione della massa e delle quantità di moto)	

Non é questa la sede di una disamina di tutti i possibili modelli, pertanto in quanto segue faremo esclusivo riferimento ai modelli deterministici. dando i criteri generali e poi fornendo le schede, elaborate dal Mignosa (loc. cit.) con le caratteristiche sintetiche dei vari modelli disponibili.

Un modello matematico di tipo deterministico può essere scomposto nei seguenti blocchi che a loro volta sono, spesso dei veri e propri sottomodelli:

- 1) blocco di INPUT

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

- 2) blocco di DEPURAZIONE¹
- 3) blocco di TRASFORMAZIONE afflussi netti-deflussi
- 4) blocco di PROPAGAZIONE all'interno della rete di drenaggio.

Esaminiamo brevemente le caratteristiche di ogni singolo blocco.

2.1 Sottomodelli di Input

E' una delle parti più importanti del modello per la quale tuttavia nonostante esistano svariate osservazioni e dati, al contrario non si è ancora raggiunta una unicità di approccio.

Peraltro possono essere diverse le finalità del modello e quindi esiste una effettiva diversa necessità di approccio del modello di input

Pertanto in quanto segue faremo distinzione tra :

- 1 Modelli del singolo evento e modelli di simulazione continua
- 2 Modelli a input differenziato o uniforme nello spazio
- 3 Ietogrammi reali e sintetici

Tutti però hanno come base uno ietogramma (cioè l'istogramma di una precipitazione)

.c.2.1.1 Modelli del singolo evento e modelli di simulazione continua

Buona parte dei modelli, a causa delle limitazioni dovute alle semplificazioni introdotte nel blocco di depurazione, non è in grado di considerare l'evolversi nel tempo delle perdite idrologiche durante i periodi di tempo asciutto intercorrenti tra un evento e l'altro, quindi prevede come ingresso soltanto precipitazioni isolate e di una certa importanza.

In particolare ciò che è difficile da quantizzare è il recupero delle capacità di infiltrazione sulle parti permeabili del bacino e lo svuotamento delle depressioni superficiali (per post-infiltrazione ed evaporazione) sia sulle aree impermeabili che quelle permeabili.

¹ In questa sede con tale termine si intende con depurazione la separazione dalle piogge totali delle piogge nette, cioè depurare le piogge totali dalla quota che non affluisce alla fognatura.

E' tuttavia da tener presente che alcuni modelli (ILLUDAS, SWMM), nati anch'essi per la simulazione di eventi isolati, sono stati successivamente modificati in modo da poter considerare precipitazioni composite anche intervallate da lunghi periodi di tempo asciutto (simulazione continua).

L'utilità dei modelli di simulazione continua è evidente in quei casi in cui occorra conoscere con buona approssimazione non solo e non tanto le portate di picco durante gli eventi intensi, ma piuttosto l'andamento complessivo dei volumi affluenti in fognatura per lunghi periodi, come nel caso occorra studiare, ad esempio:

- il dimensionamento di vasche di laminazione;
- la quantità dei volumi (e degli inquinanti) allontanati attraverso scaricatori;
- vasche di carico e/o aspirazione di impianti di sollevamento

2.1.2 Modelli a input differenziato o uniforme nello spazio

Un evento meteorico non è mai uniforme nello spazio.

In particolare le precipitazioni brevi e di forte intensità, che come già più volte asserito, sono quelle che normalmente mettono in crisi le fognature, presentano spesso una fortissima variabilità spaziale.

Alcuni modelli sono in grado di considerare input differenziati nei singoli sottobacini in cui può essere scomposto il bacino complessivo, mentre altri non prevedono questa possibilità.

Fase di simulazione.

In tal caso input che considerino una pioggia uniforme sono di norma inaccettabili infatti è contraddittorio utilizzare un modello di propagazione sofisticato all'interno della rete di drenaggio quando le portate in ingresso nelle singole caditoie (o nei singoli sottobacini) sono ricavate con piogge spazialmente mediate che possono essere anche molto lontane dalla realtà.

Fase di progetto

La sopramenzionata limitazione è meno sentita perché in generale non ha senso progettare una rete fognaria per eventi spazialmente disuniformi

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Tuttavia, può essere però qualche volta interessante verificare l'influenza del movimento dell'evento meteorico di progetto nei confronti della rete che si sta analizzando: in questo caso un modello ad input differenziato consente di inserire nei singoli sottobacini lo stesso ietogramma traslato temporalmente, simulando in qualche modo l'effetto del movimento dell'evento meteorico stesso.

2.1.3 Ietogrammi reali e sintetici

Tutti i modelli che consentono la simulazione di un evento reale sono evidentemente atti a considerare come ingresso un evento sintetico di progetto.

Alcuni di essi (URBIS, MOUSE, UCSTORM), però, sono in grado di generare automaticamente ietogrammi sintetici di varia durata e forma sulla base delle curve di possibilità pluviometrica della zona in esame.

Questa possibilità può essere utile per preparare rapidamente numerosi eventi sintetici e verificare l'influenza della variabilità temporale della precipitazione sui deflussi nella rete di drenaggio.

2.2 Sottomodelli di depurazione (piogge depurate dalle perdite)

Il sottomodello di depurazione ha lo scopo di definire l'entità e l'andamento temporale delle perdite idrologiche che si verificano su di un bacino urbano durante e dopo la precipitazione. Anche se non mancano pregevoli tentativi di analisi rigorosa del fenomeno (Akan e Yen, 1984) l'approccio metodologico è normalmente basato su equazioni di tipo empirico o semi-teorico.

Del resto la grande variabilità spaziale delle caratteristiche di infiltrabilità del terreno consente soltanto stime mediate su superfici non piccolissime.

Si vedano a questo proposito le esperienze condotte mediante infiltrometri da Ericsson e Hard su di un bacino sperimentale svedese riportate in Arnell (1980).

Delle quattro principali cause di perdite idrologiche:

- evapotraspirazione,
- velo d'acqua sul terreno (soggetto alla tensione superficiale),
- infiltrazione

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

- detenzione nelle depressioni superficiali,

le prime due sono normalmente trascurate nei modelli di simulazione di eventi isolati in quanto di modesta entità.

2.2.1 Sottomodelli di infiltrazione

L'infiltrazione sulle zone permeabili o semi-permeabili del bacino è senz'altro il fenomeno quantitativamente più ragguardevole.

A parte i modelli che ignorano completamente il contributo al deflusso delle aree permeabili (TRRL) e che possono trovare giustificazione solo in climi in cui le intensità di precipitazione sono sempre modeste se comparate con le capacità di infiltrazione, la maggior parte dei modelli si appoggiano sui seguenti schemi (Cao, 1986):

i) equazione di Horton:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (1)$$

dove:

- $f(t)$ è la capacità di infiltrazione al tempo t
- f_c è la capacità di infiltrazione limite
- f_0 è la capacità di infiltrazione all'inizio dell'evento
- k è una costante di esaurimento

ii) metodo SCS-CN:

$$V_{\text{eff}}(t) = \frac{(P(t) - I_a)^2}{(P(t) - I_a + S)} \quad (2)$$

dove:

- $V_{\text{eff}}(t)$ è il volume complessivamente defluito fino all'istante t
- P è il volume complessivamente affluito fino all'istante t
- S è il volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione
- I_a è il volume d'acqua perduto prima che abbia inizio lo scorrimento superficiale

Usualmente si ammette :

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
 Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
 65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

$$I_a = 0,2 S$$

S è valutabile secondo la formula

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

che riconduce la determinazione di S alla determinazione di CN (Curve Number), variabile tra 0 e 100 ed di cui si riporta tabella numerica.

<i>Tipo di copertura (uso del terreno)</i>	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
con trattamenti di conservazione	62	71	78	81
Terreno a pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
Buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestali				
Terreno sottile, sottobosco povero	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
buone condizioni con almeno il 75% dell' area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali				
Impermeabilità media intorno al 65%	77	85	90	92
Impermeabilità media intorno al 38%	61	75	83	87
Impermeabilità media intorno al 30%	57	72	81	86
Impermeabilità media intorno al 25%	54	70	80	85
Impermeabilità media intorno al 20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta	72	82	87	89

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona

Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,

65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

iii) equazione di Philip:

$$f(t) = f_c + 0,5 s t^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

dove s è un parametro caratteristico denominato "sorptivity" dall'Autore.

iv) metodo di Green e Ampt:

$$f = f_c \left(1 + \frac{\phi \delta}{F} \right) \quad (4)$$

dove:

δ

Errore.

ϕ

la tensione capillare al fronte di umidificazione

ed

F

il valore cumulato dell'infiltrazione.

Prescindendo dal diverso tipo di equazione utilizzata per l'infiltrazione, i vari modelli differiscono anche per la metodologia di applicazione.

Alcuni (Chicago Hydrograph, ILSD) considerano anche lo svuotamento che le depressioni superficiali sulle aree permeabili subiscono per infiltrazione qualora l'intensità di precipitazione sia inferiore alla capacità di infiltrazione stessa

Altri (SWMM) sono in grado di simulare i fenomeni di infiltrazione che avvengono a spese dello scorrimento superficiale dopo la fine della pioggia.

La maggior parte, comunque, trascura questi effetti di mutua interazione tra infiltrazione, immagazzinamento e scorrimento superficiale, ed applica le equazioni dell'infiltrazione alla sola pioggia lorda.

2.2.2 Sottomodelli relativi al trattenimento da parte delle depressioni superficiali

Meno significativa, ma non sempre trascurabile potendo raggiungere in qualche caso l'entità di alcuni millimetri è la perdita che avviene sul bacino per immagazzinamento nelle depressioni superficiali: con questa dizione

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

normalmente si intende il volume d'acqua che, essendo caduto o avendo raggiunto zone depresse del bacino, non può confluire nella rete di drenaggio e viene allontanato solo per evaporazione od infiltrazione.

A causa della impossibilità di uno approccio analitico dovuto alla sconoscenza della geometria puntuale che provoca tale trattenimento di acqua, tutti i modelli, trattano il fenomeno in maniera sintetica cioè sottraendo alla precipitazione, un volume d'acqua S_d .

I modelli si distinguono per il modo con cui viene effettuata la sottrazione.

S_d può essere sottratto :

- od in blocco all'inizio dell'evento
- o distribuito nel tempo con una legge di tipo esponenziale.

Inoltre, alcuni modelli applicano questa sottrazione sulle parti permeabili del bacino:

- dopo aver considerato il fenomeno di infiltrazione,
altri
- come perdita iniziale.

2.3 Sottomodelli di scorrimento superficiali

Uno degli aspetti più complessi e difficili è la realizzazione di un modello matematico dello scorrimento superficiale che si genera sulle superfici scolanti del bacino durante e dopo l'evento meteorico presenta.

Tale moto dell' acqua è di certo influenzato da:

- effetti viscosi (R_e)
- forze gravitazionali (F_r),

e

- dalla tensione superficiale (W_e).

Effetti e forze rispettivamente caratterizzati dai ben noti numeri adimensionali:

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

- R_e di Reynolds
- F_r di Froud
- W_e di Weber

Infatti tale moto il moto può essere sia laminare che turbolento oltre che avvenire con velocità maggiore o minore della critica ,

Inoltre le gocce di pioggia che precipitano sulla superficie disturbano il moto, come è ben messo in evidenza da studi sperimentali su piccole superfici pavimentate o bacini di laboratorio (Izzard, 1944), anche se non mancano situazioni in cui l'effetto è esattamente opposto, essendo la quantità di moto trasmessa dalle gocce al fluido in moto superiore alla resistenza (Yu e McNown, 1964).

E' poi da tener conto che é estremamente difficile se non impossibile (almeno in termini pratici) conoscere in dettaglio le caratteristiche geometriche e fisiche del bacino, pertanto, a tutt'oggi, numerosi modelli si appoggiano su schematizzazioni di carattere concettuale anziché essere fisicamente basati

D'altra parte lo scopo del modello è quello di fornire ragionevoli risultati non di carattere locale ma su superfici di una certa estensione

Pertanto fatti salvi i non molti modelli fisicamente basati negli altri, cioè quelli concettuali i parametri sono, od assumono, un carattere prettamente modellistico.

Di contro nei modelli fisicamente basati ed applicati con un dettaglio molto spinto ai parametri si può attribuire ai parametri un chiaro significato fisico (pendenze, lunghezze e scabrezze sono effettivamente quelle delle singole falde scolanti)

Sebbene, come detto, i modelli fisicamente basati siano meno utilizzati tuttavia é opportuno vederli un'attimo più da vicino, così come quelli concettuali.

2.3.1 Sottomodelli fisicamente basati " Idraulici"

Tutti i modelli attualmente esistenti di scorrimento superficiale fisicamente basati si appoggiano ad una descrizione monodimensionale del fenomeno.

Inoltre le equazioni di De Saint Venant, che sono la base della descrizione matematica, quasi mai sono utilizzate in forma completa.

Infatti:

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

- i) la scarsa influenza dei fenomeni inerziali;
- ii) i modesti effetti di rigurgito provocati dalle cunette stradali o dalle caditoie o, comunque, la difficoltà di considerarli correttamente;
- iii) la notevole mole di calcoli necessari all'applicazione delle equazioni in forma completa;
- d) il frequente accorpamento delle singole superfici scolanti (tetti, strade, ecc) in un'unica falda "equivalente"

suggerisce di semplificare l'equazione di conservazione della quantità di moto nella forma cinematica.

Con riferimento ad una falda piana di larghezza indefinita, per cui il raggio idraulico R_m coincide con la profondità h , le equazioni di De Saint Venant con l'approssimazione cinematica si scrivono (Wooding, 1965):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (V h)}{\partial x} = i - f \quad (5)$$

$$V = a \cdot h^m \quad (6)$$

dove:

h	è la profondità della corrente
V	è la velocità media della corrente
i	è l'intensità istantanea di pioggia
f	è l'intensità di infiltrazione
x	è l'ascissa, crescente verso valle
t	è il tempo
a ed m	sono dei coefficienti dipendenti dal tipo di formula di resistenza utilizzato

Combinando le equazioni (5) e (6), nell'ipotesi che a sia indipendente da x si ottiene:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (a \cdot h^{m+1})}{\partial x} = i - f \quad (7)$$

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
 Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
 65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

che, mettendo fuori segno di derivazione le costanti, può anche scriversi come:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + a (m+1) h^m \frac{\partial h}{\partial x} = i - f \quad (8)$$

che è la forma più comune dell'equazione cinematica utilizzata.

2.3.2 Sottomodelli concettuali

I modelli concettuali sostituiscono l'equazione di conservazione della quantità di moto con un legame concettuale tra ingresso, uscita e volume immagazzinato in ogni istante nel bacino.

Il reale fenomeno fisico viene quindi assimilato a qualcosa di completamente diverso e l'unica cosa che interessa è riprodurre ragionevolmente l'uscita dal modello, noto che sia l'ingresso.²

Tra essi i più comuni sono quelli che si basano sulla teoria dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH) del quale abbiamo già parlato nel cap I.

Essi possono essere applicati in forma globale, cioè all'intero bacino sotteso senza ulteriori suddivisioni o, più frequentemente, in forma distribuita, suddividendo il bacino complessivo in sottobacini ed applicando le equazioni del modello ad ognuno di essi.

2.4 Sottomodelli di propagazione nei collettori

La propagazione delle piene é uno dei fenomeni di più difficile studio non tanto per difficoltà concettuali, trattasi in fondo dell' applicazione dell' equazioni di De Saint Venant, quanto per la difficoltà di schematizzare la geometria di dominio e le condizioni iniziali ed al contorno.

Nel caso delle reti di drenaggio, queste offrono alcune semplificazioni rispetto ad altri sistemi idraulici (per esempio i fiumi) della loro geometria ed una sostanziale stabilità della stessa.

Tuttavia come sempre, quando il problema non é del tutto risolto, vi sono molti differenti modelli e le maggiori differenze tra di essi si riscontrano proprio nelle modalità con cui affrontano il fenomeno idraulico della propagazione delle onde di piena all'interno della rete di drenaggio.

Una prima grande suddivisione può essere effettuata tra i modelli idraulici ed i modelli idrologici.

² Vedasi Maione appunti di idrologia, Cap III, le piene fluviali ed La goliardica pavese.1977

I primi si basano sulle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che, con vari gradi di semplificazioni, vengono risolte numericamente e forniscono nei punti di calcolo l'andamento dei livelli e delle portate (o delle velocità) nel tempo.

I secondi si basano sull'equazione di continuità e su un legame concettuale che correla ingresso, uscita e volume immagazzinato nel sistema ad ogni istante.

Soltanto i modelli idraulici sono in grado di simulare i complessi fenomeni che si possono verificare in una rete di drenaggio durante un evento di piena.

Il Mignosa riporta il seguente parziale elenco delle situazioni che impongono particolari tecniche di simulazione (a sua volta tratto dal Cunge ed altri, 1980):

- a) il moto nelle canalizzazioni può passare alternativamente da condizione a superficie libera a condizione in pressione e viceversa;
- b) il verso del moto nelle canalizzazioni che convergono o si dipartono da un nodo di giunzione non è necessariamente predeterminato e concorde con la pendenza delle canalizzazioni stesse: per pendenze modeste può verificarsi in qualche tubazione un moto retrogrado causato dal passaggio di un'onda di piena anticipata in qualche altro collettore connesso con il medesimo pozzetto;
- c) il moto può passare alternativamente da condizioni subcritiche a supercritiche e viceversa;
- d) per reti con pendenza modesta è necessario considerare gli effetti di rigurgito provocati da confluenze, ostacoli di vario genere o scarichi terminali non liberi;
- e) la rete può essere molteplici connessa, mediante canalizzazioni di collegamento che hanno lo scopo di ottimizzare gli effetti di invaso (caso tipico è la fognatura di Milano);
- f) nella rete sono quasi sempre presenti manufatti particolari quali scaricatori di piena, impianti di sollevamento, vasche volano, paratoie, ecc.

Nessuna di queste situazioni, a parte l'ultima, può essere adeguatamente rappresentata da un modello idrologico.

Alcune di esse, a seconda delle approssimazioni introdotte nello schema numerico, possono essere invece simulate con un modello di tipo idraulico, a patto che la rete e le condizioni al contorno che governano il moto siano conosciute con adeguato dettaglio.

Qualora questa informazione sia lacunosa o mancante, come frequentemente avviene in fase di progetto, la maggior precisione ottenibile con i modelli idraulici sofisticati è spesso puramente aleatoria.

Ho ritenuto utile fare una breve classificazione delle varie semplificazioni e delle corrispondenti potenzialità dei modelli idraulici ed idrologici, per una miglior comprensione delle schede relative a ciascun modello

Per maggiori dettagli si rimanda sen'altro a Yen (1986), Abbot e Cunge (1982), Cunge (1980), Mahamood e Yevjevich (1975) od ai manuali specifici dei singoli modelli.

2.3.2 Sottomodelli idraulici cioè fisicamente basati

Questi sottomodelli a loro volta si dividono in :

- modelli di moto a superficie libera
- modelli di moto in pressione;

2.3.2.1 Sottomodelli idraulici per moto a superficie libera

Le equazioni di De Saint Venant, come è noto, possono scriversi:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{\Omega} + g \Omega \frac{\partial y}{\partial x} + g \Omega \left(\frac{Q \bar{Q}}{K^2 \Omega^2 R^{\frac{3}{4}}} \right) - g \Omega s \right) = u q \cos \alpha \quad (10)$$

con :

$\Omega =$ area della sezione trasversale della corrente [m^2]

$K =$ coefficiente di Manning $\left[\frac{m^{\frac{1}{3}}}{s} \right]$

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Q=	portata	$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$
q=	portata immessa lateralmente	$\left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]$
R=	raggio idraulico	[m]
u=	velocità della portata immessa	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$
h=	profondità della corrente [m]	
g=	accelerazione di gravità	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
x=	distanza misurata lungo il canale	[m]
t=	tempo	[s]
β =	coefficiente di ragguglio delle quantità di moto pari a:	

$$\beta = \frac{\Omega}{Q^2} \int_A v^2 dv$$

s= pendenza del fondo

α = angolo compreso tra l'immissione laterale e la corrente principale

A seconda che nella precedente vengano considerati nulli e quindi si eliminano taluni dei monomi a primo membro, si passa dallo studio dell'onda dinamica completa a quella della:

l'onda dinamica quasi stazionaria (quasi-steady) se si considera nullo $\frac{\partial Q}{\partial t}$

l'onda parabolica (noninertia) se si considera nullo anche $\frac{\partial}{\partial x} b \frac{Q^2}{\Omega}$

l'onda cinematica se si considera nullo anche $g \Omega \frac{\partial y}{\partial x}$

In tale ultimo, l'equazione dell'onda cinematica, sarà dunque:

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona
 Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
 65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

$$g \Omega \left(\frac{Q \bar{Q}}{K^2 \Omega^2 R^{\frac{3}{4}}} \right) - g \Omega s = u q \cos \alpha \quad (11)$$

mentre, quella dell' onda parabolica (noninertia o modello diffusivo):

$$g \Omega \frac{\partial y}{\partial x} + g \Omega \left(\frac{Q \bar{Q}}{K^2 \Omega^2 R^{\frac{3}{4}}} \right) - g \Omega s = u q \cos \alpha \quad (12)$$

mentre, quella dell' onda dinamica quasi stazionaria (quasi-steady):

$$\frac{\partial}{\partial x} \beta \frac{Q^2}{\Omega} + g \Omega \frac{\partial y}{\partial x} + g \Omega \left(\frac{Q \bar{Q}}{K^2 \Omega^2 R^{\frac{3}{4}}} \right) - g \Omega s = u q \cos \alpha \quad (13)$$

Le precedenti semplificazioni che possono essere introdotte nello schema di calcolo, servono al solo scopo di ridurre i tempi di elaborazione.

A maggiori semplificazioni corrispondono normalmente minore accuratezza nei risultati ma soprattutto minori capacità del modello di tenere conto delle particolari condizioni di moto riportate in precedenza.

La tabella seguente tratta da Yen (1986) riporta le principali caratteristiche delle singole semplificazioni .

Caratteristiche	cinemat tica	parabo lica	quasi stady	comple ta
Condizioni al contorno richieste	1	2	2	2
Possibilità di considerare effetti di rigurgito o moti retrogradi	No	Si	Si	Si
Attenuazione del picco	No	Si	Si	Si

La fig. 2 tratta da Sevuk (1973) rappresenta un esempio delle conseguenze delle successive semplificazioni della simulazione di un'onda teorica sinusoidale.

E' interessante notare come un modello di tipo diffusivo consenta una migliore approssimazione di un modello dinamico quasi-stazionario: ciò è dovuto al fatto che i due termini di accelerazione convettiva e locale:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} > 0 \text{ e } \frac{\partial Q}{\partial x} < 0$$

sono normalmente di segno opposto sia nella fase crescente dell'idrogramma che nella fase discendente dello stesso.

Anche per questo motivo, oltre che per il fatto di non consentire apprezzabili vantaggi di programmazione e di tempo di elaborazione, i modelli dinamici quasi-stazionari non sono molto usuali.

I modelli che si basano sull'approssimazione di tipo cinematico sono, al contrario, molto frequenti in letteratura.

Occorre però tener presente, oltre a tutte le limitazioni a cui essi sono soggetti, che in collettori a sezione chiusa la celerità cinematica

$$C = \frac{dQ}{d\Omega}$$

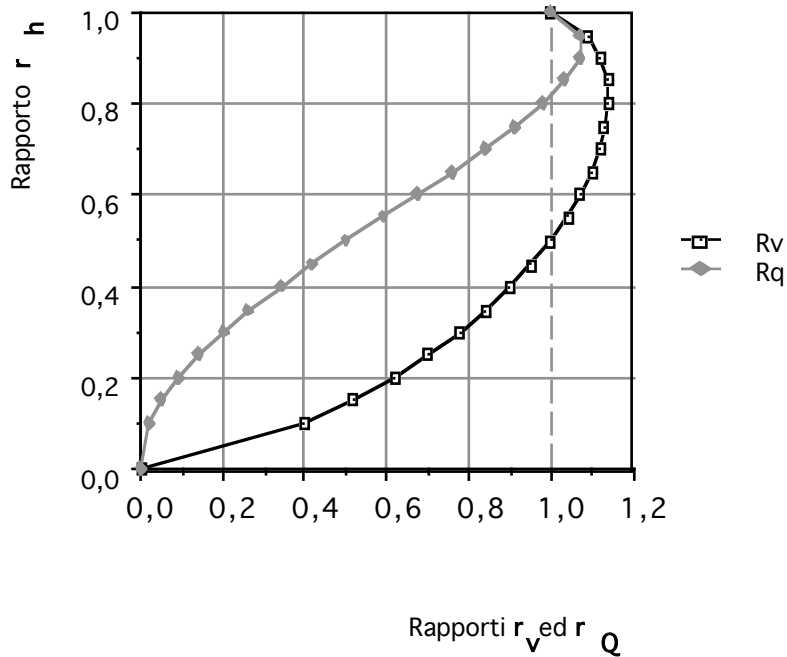
presenta un massimo per poi decrescere fino ad annullarsi per la sezione circolare si ha:

- il massimo in corrispondenza di $\theta = 0,6$

ed

- il valore nullo in corrispondenza di $\frac{h}{D} = 0,94$

La figura seguente riportata il bel noto grafico adimensionale di tale celerità, ricavato per un collettore circolare utilizzando la formula di resistenza di Manning con il coefficiente di Strickler.



Questo andamento può provocare forti deformazioni, del tutto errate, della forma dell'onda qualora essa in taluni punti determini altezze d'acqua maggiori dello specchio (vale a dire ove ricorrano tratti in pressione), al fine di aggirare tale possibilità di errori, molti modelli ricorrono ad un artificio, modificando la parte alta della scala di deflusso di moto uniforme e, di conseguenza la celerità cinematica in questa zona.

A titolo di esempio la figura seguente, la deformazione della scala di deflusso adottata dal modello MOUSE.

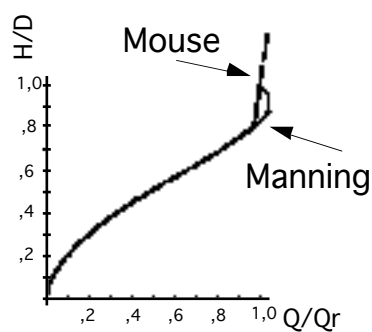


Fig. 4 - Modifica della scala di deflusso utilizzata nel modello MOUSE

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona

Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,

65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Qualora l'altezza d'acqua in qualche punto della canalizzazione superi l'altezza libera disponibile, parte della tubazione entra in pressione.

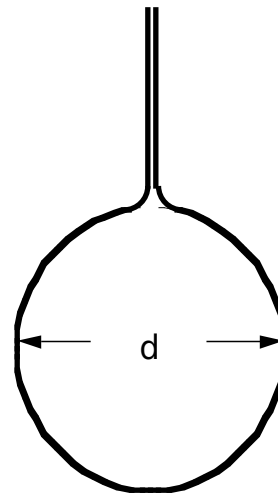
La modellazione di questa transizione da moto a pelo libero a moto in pressione presenta notevoli difficoltà di carattere numerico, in particolare l'elevata celerità delle perturbazioni e le corrispondenti rapide variazioni delle grandezze fisiche costringe ad usare intervalli di discretizzazione delle equazioni molto brevi con corrispondenti appesantimenti nel calcolo.

E' poi necessario che il modello comprenda una routine di carattere decisionale che individui, sulla base di qualche criterio, quali tratti di tubazione stiano attualmente funzionando in pressione e quali a pelo libero, ed applichi a ciascun tratto le equazioni che gli competono.

Quasi tutti i modelli al fine di ridurre i problemi decisionali sulla transizione tra un tipo di moto e l'altro (e quindi per evitare il continuo avvicinarsi delle equazioni risolventi) si basano sullo schema suggerito da Preismann (Cunge e Wegner, 1964).

L'idea originale di Preissmann consiste nell'immaginare che la situazione di moto in pressione possa ricondursi ad una condizione di moto a pelo libero introducendo, per tutta la lunghezza del tubo, una fessura verticale fittizia indefinita.

La larghezza l della fessura deve essere sufficientemente piccola da non introdurre apprezzabili errori nella valutazione dei volumi e delle celerità e contemporaneamente non così piccola da ingenerare problemi di instabilità numerica associati alle rapide variazioni di quota piezometrica.



A tal scopo va rispettata la seguente disequaglianza.

$$l \leq l_0 = \frac{g \Omega}{a^2}$$

dove :

a é la celerità del suono in acqua, considerando la comprimibilità del liquido e l'elasticità del condotto..

Ω é area della sezione piena del condotto.

g é l' accelerazione di gravità .

2.3.2.3 Condizioni ai nodi

Se il moto nella rete è subcritico ed i singoli collettori non sono sconnessi idraulicamente tra loro, ad esempio mediante salti di fondo nelle confluenze, esiste un' effetto dovuto alla mutua interazione di un collettore sull'altro.

Tale effetto (rigurgito) può essere molto importante.

Un'esauriente trattazione degli studi sperimentali e teorici sull'argomento è riportata in Yen (1986)³, a cui si rimanda

In Italia anche il Cozzo (1985).ha trattato l'argomento⁴

E' da ribadire come un modello di tipo cinematico non sia in alcun modo in grado di considerare questi effetti.

Anche quando la risposta dei modelli cinematici non è drasticamente approssimata nel caso di un canale singolo indefinito, essa può diventare del tutto aleatoria se applicata ad una rete con un alto grado di connessione idraulica.

Alcuni modelli (SWMM) consentono di utilizzare contemporaneamente diverse semplificazioni in diverse zone della rete, per evitare appesantimenti nelle elaborazioni laddove non é necessario considerare i fenomeni di rigurgito mentre in altre, ove si presume che essi siano significativi, é possibile tenerne conto.

2.3.3 Sottomodelli idrologici

³ Yen B.C. "Rainfall-Runoff Process on Urban Catchments and Modelling" - Proceeding of the International Symposium on Comparison of Urban Storm Drainage Models with real catchment data UDM,86, Dubrovnik, Yugoslavia, 1986

⁴ Cozzo, Il moto vario nelle fognature, Sistemi di drenaggio urbano, IV Corso di aggiornamento in sistemi fognari, Milano 27-31 maggio 1985

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Si differenziano a seconda delle modalità con cui esprimono il legame (concettuale) tra ingresso, uscita e volume immagazzinato nella rete.

Tra essi i più diffusi sono il metodo dell'invaso, il metodo Muskingum-Cunge ed il metodo della traslazione rigida dell'idrogramma.

Nel metodo dell'invaso si assume:

$$dW = k \delta x d\Omega_2 \quad (14)$$

dove

δx è la lunghezza del tronco considerato,

Ω_2 è l'area della sezione bagnata in uscita dal tronco

e

k è un coefficiente di taratura usualmente

Nel metodo Muskingum il legame è il seguente:

$$dW = K-X [Q_1(t + \delta t) - Q_1(t)] + K(1-X) [Q_2(t + \delta t) - Q_2(t)] \quad (15)$$

che, sostituendo nell'equazione di continuità, conduce alla ben nota espressione:

$$Q_{i+1, n+1} = C_1 Q_{i, n} + C_2 Q_{i, n+1} + C_3 Q_{i+1, n} \quad (16)$$

dove:

$$C_1 = \frac{KX + 0,5 \delta t}{K(1-X) + 0,5 \delta t}$$

$$C_2 = \frac{0,5 \delta t - KX}{K(1-X) + 0,5 \delta t} \quad (17)$$

$$C_3 = \frac{K(1-X) - 0,5 \delta t}{K(1-X) + 0,5 \delta t}$$

inoltre:

$Q_{i+1, n+1}$ è la portata al passo temporale $t = (n+1) \delta t$ ed all'ascissa $x = (i+1) \delta x$

K ed X sono i parametri del modello.

Cunge (1969) ha mostrato come la (16) sia anche un'espressione approssimata di un modello di tipo parabolico qualora K ed X non siano considerati costanti (come è il caso del metodo Muskingum tradizionale) ma siano valutati con le espressioni:

$$K = \frac{\delta x}{c} \quad (18)$$

$$X = 0,5 \left[1 - \frac{Q}{i-c-b \delta x} \right] \quad (19)$$

con

b = larghezza in superficie

e

$$c = \frac{dQ}{dA} .$$

Il modello Muskingum-Cunge a parametri variabili può quindi essere considerato un modello fisicamente basato.

Infine il metodo della traslazione rigida consiste semplicemente nella traslazione senza deformazione dell'onda in ingresso al tronco:

$$Q_2(t) = Q_1(t - \delta t) \quad (15)$$

dove Q_2 e Q_1 sono rispettivamente la portata alla fine ed all'inizio del tronco considerato e δt è un ritardo usualmente determinato sulla base della celerità di propagazione dell'onda cinematica per una portata di riferimento.

Numerosi modelli (ILLUDAS, Chicago Hydrograph, URBIS, ILSD-1&2, UCUR) adottano questa semplice procedura, eventualmente come opzione ad altri più sofisticati metodi.

2.4 Utilizzo dei modelli

Sono possibili diverse modalità di utilizzo dei modelli, nella tabella che segue tratta dal citato lavoro del Mignosa, sono indicate alcune di tali possibilità individuate dallo Yen nel 1986

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Modalità di applicazione	Input	Parametri del modello	Valore dei parametri	Output
Predizione	Noto	Noti	Noto	?
Calibrazione	Noto	Noti	?	Noto
Validazione o verifica	Noto	Noti	Noto	?(=noto?)
Deduzione	?	Noti	Noto	Noto
Identificazione dei parametri	Noto	?	Noto (?)	Noto
Analisi di sensibilità	Noto	Noti	Noto	?

La **predizione**, che in fondo è lo scopo principale di un modello, consente, noti i parametri ed i valori da attribuire ad essi, di determinare la risposta del modello (e cioè del bacino) ad una precipitazione anch' essa nota, reale o di progetto.

Il risultato sarà tanto più attendibile quanto più il modello è stato calibrato e verificato.

Per **calibrazione** si intende la taratura dei valori dei parametri del modello, noti che siano ingresso, uscita ed i parametri stessi da cui il modello dipende.

I modelli concettuali, o quelli fisicamente basati applicati con un dettaglio non molto spinto, richiedono necessariamente una calibrazione, mentre quando i secondi sono applicati con estremo dettaglio non necessitano (in teoria) di questa fase di aggiustamento.

La **verifica** (o validazione) è un controllo sulla validità generale dei valori dei parametri assunti in fase di calibrazione. Essa dovrebbe essere condotta su una serie di eventi registrati possibilmente distinta da quella utilizzata in fase di calibrazione.

Sovente questa giusta esigenza è vanificata dalla scarsa disponibilità di eventi registrati, che non consentono di dividere il set di dati in due categorie, una per calibrazione e l'altra per verifica, entrambe sufficientemente consistenti.

La **deduzione** è una modalità di applicazione poco frequente che consente, calibrato e verificato il modello, di risalire all'ingresso (precipitazione) che ha provocato una certa risposta, nota od ipotizzata.

L'**identificazione dei parametri**, problema delicato che non può essere scisso da una preliminare impostazione di carattere teorico, dovrebbe consentire, noti numerosi ingressi ed uscite corrispondenti, di risalire ad i parametri (ed eventualmente anche ai loro valori) che influenzano il modello. In fondo, anche l'analisi dimensionale di un problema riconduce ad identificare i parametri (adimensionali) da cui esso dipende.

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

L'**analisi di sensibilità**, infine, è una procedura di controllo per garantirsi che una variazione, entro certi limiti, dei valori dei parametri, non infici totalmente il risultato finale.

2.5 Note conclusive sui modelli e schede dei modelli più diffusi

Le potenzialità offerte da un modello dipendono sostanzialmente da come sono trattati matematicamente i singoli blocchi di cui è composto, ma è chiaro che, come sempre accade, l'attendibilità del risultato è determinata dall'anello più debole della catena complessiva.

Nondimeno, alcuni modelli appaiono prediligere l'approfondimento di alcuni aspetti piuttosto che altri, e questo può dipendere dallo scopo per cui sono stati costruiti o da particolari situazioni locali in cui sono nati⁵.

Chi si accinge ad usare un modello per la risoluzione di un suo problema specifico deve quindi sempre avere ben presente sia lo scopo del suo lavoro che le potenzialità offerte dal suo modello.

Sovente invece si utilizza un modello piuttosto che un altro semplicemente perché lo si possiede, purtroppo, però, non sempre il modello di cui si dispone è quello che si adatta meglio allo scopo, ed in certi casi non si adatta affatto.

Un modello di drenaggio urbano, così come peraltro qualsivoglia altro modello ingegneristico, per sofisticato e complesso che sia, non deve essere visto quindi come uno strumento da utilizzare automaticamente e senza un'

⁵ Il Mignosa in proposito porta questi esempi:

Un modello di simulazione continua deve essere in grado di considerare l'evolversi nel tempo delle perdite idrologiche non soltanto durante gli eventi di pioggia ma anche durante i periodi di tempo asciutto intercorrenti tra un evento e l'altro; viceversa un modello di simulazione del singolo evento può prescindere da questa modellazione ma spesso deve essere più accurato nella simulazione dei fenomeni propagatori all'interno della rete di drenaggio.

Un modello adatto alla simulazione di piccoli bacini può spesso prescindere dal considerare un input di pioggia spazialmente differenziato, mentre nella simulazione di un evento di piena in un grosso bacino questa caratteristica si rivela indispensabile.

Infine, alcuni modelli Nord-Europei (TRRL) trascurano l'apporto della componente permeabile del bacino e questo è giustificato dalle modeste intensità di precipitazione in quelle zone, comparate con le capacità di infiltrazione dei suoli, ma l'applicazione di simili semplificazioni a situazioni locali differenti in cui le precipitazioni sono molto più intense può condurre ad errori grossolani.

esame ed una verifica della rispondenza delle ipotesi a base del modello con le nostre esigenze.

In quanto segue sono alcuni dati elementari dei principali modelli esistenti, purtroppo non tutti aggiornati dato il continuo evolversi della materia (Mignosa, loc. cit.).

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Modello: Chicago Hydrograph

Bibliografia:	Tholin e Keifer (1960); Keifer et al (1978)
Manuale:	Sì
Input:	letogramma isolato, di progetto tipo Chicago; distribuzione spaziale non consentita.
Depurazione:	<p>a) Infiltrazione: con il metodo di Horton, previa traslazione della curva; alla fine dell'evento, quando l'intensità di precipitazione è inferiore alla capacità di infiltrazione, è prevista la sottrazione di acqua precedentemente accumulata sulla superficie o nelle depressioni superficiali.</p> <p>b) Depressioni superficiali: riempimento con andamento esponenziale con valore asintotico differente per le aree impermeabili e permeabili; su queste ultime le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione.</p>
Scorrimento superficiale:	<p>a) <i>Falda</i>: Basata sull'equazione continuità e sull'equazione di Izzard ricavata per moto permanente, considerandola valida anche in condizioni di moto vario; il coefficiente di scabrezza è variabile durante l'evento in funzione dell'intensità di pioggia.</p> <p>b) <i>Cunetta</i>: propagazione di tipo cinematico (formula di Manning).</p>
Propagazione nei collettori:	<p>a) <i>Collettori Secondari</i>: suddivisione dell'idrogramma complessivo in un certo numero di idrogrammi, tutti uguali; traslazione differenziata degli stessi e successiva somma.</p> <p>b) <i>Collettore Principale</i>: assimilato ad un serbatoio lineare.</p>
Condizioni ai nodi:	$\Sigma Q = 0$
Transizione:	non prevista
Moto in pressione:	non ammesso
Hardware:	non specificato
Note:	Più che un modello vero e proprio si tratta di un metodo semi-automatico utilizzato dagli Autori per determinare degli abachi utili per il dimensionamento della fognatura di Chicago.

Modello: UCUR (Università of Cincinnati Urban Runoff Model)

Bibliografia:	Preul e Papadakis (1972); Papadakis and Preul (1972) Heeps e Mein (1974).
Manuale:	Sì
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. E consentito inserire in ogni sottobacino in cui è suddiviso il bacino complessivo una precipitazione differente.
Depurazione:	a) <i>Infiltrazione</i> : con il metodo di Horton, previa traslazione della curva; non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione. b) <i>Depressioni superficiali</i> : riempimento con andamento esponenziale con valore asintotico differente per le aree impermeabili e permeabili e su queste ultime le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione.
Scorrimento superficiale:	<i>Falda</i> : Basata sulla formula di Crawford e Linsey per la detenzione superficiale e sull'equazione di continuità. <i>Cunetta</i> : equazione di continuità.
Propagazione:	traslazione rigida.
Condizioni ai nodi:	$\sum Q = 0$.
Transizione:	non prevista
Moto in pressione:	non ammesso

Modello: TRRL

Bibliografia:	Watkins (1962,); Terstriep e Stall (1969); Stall e Terstriep (1972); Heeps e Mein (1974)
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. Distribuzione spaziale consentita.
Depurazione:	Aree impermeabili contribuenti con coefficiente di afflusso 1. Aree permeabili non contribuenti.
Scorrimento superficiale:	Metodo di corrivazione con curva aree/tempi lineare per ciascuna area afferente ad una caduta.
Propagazione:	L' idrogramma proveniente da ogni tratto compreso tra due ingressi viene traslato rigidamente di un tempo calcolato sulla base della velocità a riempimento del condotto e con la formula di Colebrook-White. Alla fine di ogni tronco l'onda viene laminata in un serbatoio non lineare il cui legame volumi invasati-portate uscenti è calcolato in moto uniforme con la formula di Colebrook-White.
Condizioni ai nodi:	$\sum Q = 0$
Transizione:	$Q = Q_r$, (moto uniforme)
Moto in pressione:	non ammesso. Il modello aumenta automaticamente la sezione del collettore in modo che l'onda possa transitare a pelo libero o, in alternativa, ammette $Q=Q_r$, e l'eccedenza è considerata persa.
Note:	Modello di progetto. Consente di calcolare il diametro necessario a convogliare un assegnato idrogramma.

Modello: ILLUDAS

Bibliografia:	Terstriep et al. (1974); Wenzel e Voorhees (1980)
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. letogramma di progetto previsto distribuito secondo Huff - primo quartile - probabilità di superamento 50%. Distribuzione spaziale non consentita. Nella versione modificata da Wenzel e Voorhees anche simulazione continua.
Depurazione:	Le aree impermeabili non direttamente connesse sono considerate un contributo aggiuntivo di pioggia sulle aree permeabili. <i>Depressioni superficiali:</i> valori differenti per aree permeabili ed impermeabili. La depurazione effettuata sottraendo l'intera capacità all'inizio della precipitazione. Nelle aree permeabili questa sottrazione prevede la depurazione per infiltrazione <i>Infiltrazione:</i> con il metodo di Horton senza traslazione della curva; non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione.
Scorrimento superficiale:	Metodo di corrivazione con curve aree/tempi non-lineari, diverse per la parte impermeabile e permeabile del medesimo sottobacino. I due idrogrammi così generati vengono poi sommati tra loro.
Propagazione:	1) metodo dell'invaso non lineare tra due successivi punti di ingresso della rete. Il legame volumi invasati-portate uscenti per ogni tronco determinato con l'ipotesi di moto uniforme e l'equazione di Manning. Forme di sezione ammesse: circolare, trapezia e rettangolare. 2) in alternativa, traslazione rigida dell'idrogramma tra un pulito di ingresso e l'altro.
Condizioni ai nodi:	$\sum Q = 0$ o $\sum Q = \frac{ds}{dt}$
Transizione:	$Q = Q_r$, (moto uniforme)
Moto in pressione:	non ammesso. Il modello aumenta automaticamente la sezione del collettore in modo che l'onda possa transitare a pelo libero o, in alternativa, ammette $Q=Q_r$, e l'eccedenza è considerata persa.
Hardware:	Ibm 360 (system 75)
Note:	Modello di progetto. Consente di calcolare il diametro necessario a convogliare un assegnato idrogramma. Modificato per simulazione continua.

Modello: ILSD 1&2

Bibliografia:	Yen et al. (1984)
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. letogramma di progetto previsto di forma triangolare, deducibile anche automaticamente da assegnate curve di possibilità pluviometrica. Distribuzione spaziale non consentita.
Depurazione:	La superficie di ciascun bacino è suddivisa in 5 categorie a) area non-contribuente; b) area impermeabile direttamente connessa, c) area permeabile direttamente connessa; d) area impermeabile scolante su c); e) area permeabile scolante su b). Si ammette che le aree di tipo d) diano una risposta istantanea. <i>Depressioni superficiali:</i> valori differenti per aree permeabili ed impermeabili. La depurazione è effettuata sottraendo l'intera capacità all'inizio della precipitazione. Nelle aree permeabili questa sottrazione precede la depurazione per infiltrazione. <i>Infiltrazione:</i> con il metodo di Horton senza traslazione della curva; è previsto lo svuotamento delle depressioni superficiali per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.
Scorrimento superficiale:	metodo di corrivazione con curva aree/tempi lineare per le aree di tipo b), c) ed e).
Propagazione:	traslazione rigida dell'idrogramma.
Condizioni ai nodi:	$\Sigma Q = \frac{ds}{dt}$
Transizione:	$Q = Q_r$, (moto uniforme)
Moto in pressione:	non specificato.
Hardware:	CDC Cyber 175 o IBM 4341
Note:	modello di progetto e di minimizzazione dei costi. Consente di determinare diametro, pendenze e quote dei collettori, il minimo costo della rete ed il volume di vasche volano (se richiesto). Nel caso di rete già esistente, in tutto od in parte, il modello fornisce, tronco per tronco, anche il rischio di allagamenti dovuto all'inadeguata capacità della rete.

Modello: SWMM

Bibliografia:	Metcalfe Eddy, Inc. (1971); Huber e Heaney (1982); Huber et al. (1984)
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto o simulazione continua. Distribuzione spaziale consentita.
Depurazione:	<p><i>infiltrazione :</i></p> <p>1) equazione di Horton, senza traslazione della curva. E prevista infiltrazione dello scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione.</p> <p>2) in alternativa metodo Green e Ampt.</p> <p><i>Depressioni superficiali</i> si ammette che si riempiano completamente con le prime precipitazioni. Possono svuotarsi per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.</p>
Scorrimento superficiale:	<p><i>falda:</i> equazione di continuità + equazione di Manning (superficie libera parallela al piano in ogni istante).</p> <p><i>Cunetta:</i> Idem.</p>
Propagazione:	<p>1) Onda cinematica.</p> <p>2) Onda dinamica completo. Metodo di soluzione esplicito, tronco per tronco.</p>
Condizioni ai nodi:	equazione di continuità e congruenza dei livelli.
Transizione:	<p>1) quando tutti i tronchi convergenti in un nodo hanno raggiunto il totale riempimento,</p> <p>2) quando il livello nel pozzetto supera il cielo della tubazione più superficiale.</p>
Moto in pressione:	Basato sulle equazioni del moto a pelo libero con livelli nei pozzetti calcolati con dei coefficienti di correzione. Il volume in eccesso è considerato perso.
Hardware:	IBM PC-XT o compatibili (nella versione PCSWMM3). Memoria RAM > 512K.
Note:	modello (anche) di progetto. Possibilità di utilizzo con diversi gradi di dettaglio. Possibilità di simulazione continua. Comprende anche una parte qualitativa.

Modello: USGS

Bibliografia:	Dawdy et al.(1972, 1978); Leclerc e Shaake (1973)
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. Distribuzione spaziale non consentita.
Depurazione:	<i>Infiltrazione:</i> equazione di Philip; non prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione. Depressioni superficiali: considerate.
Scorrimento superficiale:	Falda: onda cinematica. Cunetta: non prevista.
Propagazione:	onda cinematica.
Condizioni ai nodi:	$\sum Q = \frac{ds}{dt}$
Transizione:	$Q = Q_r$, (moto uniforme)
Moto in pressione:	non ammesso. Il volume eccedente la capacità di portata del collettore viene restituito durante la fase decrescente della piena.

Modello: CTH

Bibliografia:	Arnell (1980)
Manuale:	No
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. Distribuzione spaziale non consentita.
Depurazione:	<i>Infiltrazione:</i> con il metodo di Horton previa traslazione della curva; non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale dopo la fine della precipitazione. <i>Depressioni superficiali:</i> riempimento con andamento esponenziale con valore asintotico differente per le aree impermeabili e permeabili, su queste ultime le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione. E previsto lo svuotamento delle depressioni superficiali per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.
Scorrimento superficiale:	Falda: onda cinematica. Cunetta: equazione di continuità.
Propagazione: onda	cinematica.
Condizioni ai nodi:	$\sum Q = 0$
Transizione:	non prevista.
Moto in pressione:	non ammesso.
Hardware:	non specificato.
Note:	modello (anche) di progetto. E prevista una routine per la determinazione dei diametri delle canalizzazioni e delle capacità delle vasche-volano.

Modello: MOUSE

Bibliografia:	Lindberg et al (1986); Danish Hydraulic Institute (1987).
Manuale:	Si (anche in linea)
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. Possibilità di memorizzare archivi di eventi reali o tabelle di eventi sintetici. Distribuzione spaziale non consentita.
Depurazione:	<p><i>Evaporazione, Velo d'acqua sulla superficie, Infiltrazione:</i> con il metodo di Horton, previa traslazione della curva non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione.</p> <p><i>Depressioni superficiali:</i> riempimento con andamento esponenziale con valore asintotico differente per le aree impermeabili e permeabili e su queste ultime le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione. Non è previsto lo svuotamento delle depressioni superficiali per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.</p>
Scorrimento superficiale:	<p><i>a) metodo di corrivazione con 3 forme tipo di curve aree-tempi;</i> <i>b) onda cinematica.</i> In questo secondo caso ciascun sottobacino può essere suddiviso in 7 tipi diversi, a seconda delle caratteristiche di pendenza, scabrezza, ecc. (tetti ripidi o piatti, strade, ecc). Ciascuna parte viene considerata come una falda a cui si applicano le equazioni cinematiche.</p>
Propagazione:	onda cinematica, parabolica o dinamica completa. Metodo di soluzione: differenze finite con schema implicito tipo Abbott-lonescu a 6 punti. Possibilità di considerare reti molteplici connesse, effetti di rigurgito e moti retrogradi.
Condizioni ai nodi:	equazione di continuità (considerando anche l'invaso del pozzetto) + equazione dell'energia. Possibilità di considerare perdite di carico per confluenze, cambi di direzione, salti di fondo, ecc.
Transizione:	graduale.
Moto in pressione:	schema di Preismmann.
Hardware:	IBM PC o compatibili. RAM \geq 512K bytes. Hard disk \geq 10 Mbytes.
Note:	Programma strutturato a menù interattivi, facilmente gestibile. Possibilità di considerare pompe, vasche volano, scaricatori, ecc. Esiste anche una parte qualitativa.

Modello: URBIS

Bibliografia:	Mignosa e Paoletti (1986)
Manuale:	Si
Input:	letogramma reale o di progetto. letogrammi di progetto previsti (generati automaticamente sulla base di curve di possibilità pluviometrica): a) costante; b) Huff - primo quartile - probabilità di superamento 50%; c) Chicago. Distribuzione spaziale: ammessa (manualmente). Raggiungo all'area: secondo Columbo o Wallingford.
Depurazione:	a) metodo percentuale; b) metodo di Horton con traslazione della curva. Non è prevista infiltrazione dello scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione; c) metodo SCS-CN.
Depressioni superficiali:	riempimento con andamento esponenziale con valore asintotico differente per le aree impermeabili e permeabili e su queste ultime le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione. Non è previsto lo svuotamento delle depressioni superficiali per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.
Scorrimento superficiale:	metodi dello IUH: a) corrvazione, con curva aree tempi lineare e non; b) metodo dell'invaso lineare; c) metodo di Nash; d) possibilità di inserire un IUH a piacere.
Propagazione:	a) traslazione rigida dell'idrogramma; b) metodo Muskingum a parametri costanti valutati secondo Cunge su una portata di riferimento.
Condizioni ai nodi:	$\Sigma Q = 0$
Transizione:	non prevista.
Moto in pressione:	non ammesso.
Hardware:	IBM PC XT o compatibili.
Note:	possibilità di considerare (o dimensionare) vasche volano caratterizzate da diverse leggi di scarico. Possibilità di considerare scaricatori di piena in maniera semplificata. Il modello è semi-manuale in quanto ogni passo deve essere specificato dall'Utente.

Ignazio MANTICA

dal Corso di Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria dell' Università di Ancona
Dispense disponibili presso l'IDROstudi-SASOP srl,
65125 PERSCARA, via Donatello, 45 - (085) 74 2 46

Modello: UCSTORM

Bibliografia: Calomino F. (1988)
Manuale: Sì (in linea)
Input: letogramma reale o di progetto. letogramma di progetto tipo Chicago generato automaticamente sulla base di curve di possibilità pluviometrica in forma monomia. Distribuzione spaziale: ammessa (fino a 30 input differenti)

Depurazione:
Infiltrazioni: metodo di Horton con traslazione della curva. Non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale dopo la fine della precipitazione.
Depressioni superficiali: riempimento con andamento esponenziale; sulle aree permeabili le depressioni superficiali cominciano a riempirsi quando è disponibile una pioggia netta dall'infiltrazione. Non previsto lo svuotamento delle depressioni superficiali per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.

Scorrimento superficiale: per ogni sottobacino IUH dell'invaso lineare. Le precipitazioni nette sulle aree impermeabili e permeabili sono trasformate con lo stesso IUH. La costante di vaso può essere introdotta dall'Utente o calcolata dal programma secondo la formula di Desbordes o di Pedersen.

Propagazione: modello cinematico. Possibilità di considerare collettori di forma differente: circolare, ovoidale, ribassata.

Condizioni ai nodi: $\sum Q = 0$
Transizione: Non prevista
Moto in pressione: Non ammesso
Hardware: IBM PC o compatibili
Note: modello (anche) di progetto. E possibile definire la sezione dei collettori necessaria al convogliamento di un certo idrogramma. In alternativa, qualora la capacità di portata del collettore è insufficiente, il programma lo segnala. Possibilità di considerare una suddivisione fino a 30 sottobacini in un unico run.

Modello: PC-OTTHYMO

Bibliografia:	Wisner (1983).
Manuale:	Si
Input:	letogramma isolato, reale o di progetto. Distribuzione spaziale consentita introducendo in ciascun sottobacino una precipitazione differente.
Depurazione:	<p><i>Depressioni superficiali:</i> riempimento totale all'inizio dell'evento. Non previsto lo svuotamento per infiltrazione qualora l'intensità di pioggia sia inferiore alla capacità di infiltrazione.</p> <p><i>Infiltrazione:</i> a) con il metodo di Horton previa traslazione della curva; non è prevista infiltrazione dallo scorrimento superficiale, dopo la fine della precipitazione; b) con il metodo SCS-CN.</p>
Scorrimento superficiale:	metodi dello IUH. Nella routine URB-HYD, consigliata per aree urbane, suddivisione delle aree in impermeabili direttamente connesse, permeabili connesse ed impermeabili non direttamente connesse. Queste ultime sono considerate scolanti istantaneamente nelle aree permeabili. Trasformazione con due invasi lineari in parallelo e successiva somma. Costanti di invaso o a scelta dell'utente o valutate con la formula di Pedersen.
Propagazione:	metodo Muskingum-Cunge.
Condizioni ai nodi:	$\Sigma Q = 0$.
Transizione:	non prevista.
Moto in pressione:	non ammesso.
Hardware:	IBM PC XT o compatibili.
Note:	modello di progetto. Il diametro dei collettori viene automaticamente aumentato, nei casi in cui si riveli insufficiente, per consentire il convogliamento a pelo libero. Possibilità di considerare vasche di laminazione.