

# WORKSHOP NAZIONALE SU IDROLOGIA OPERATIVA

Roma, 9 e 10 luglio 2015

**Recenti avanzamenti nella progettazione e  
nella riabilitazione funzionale  
delle reti urbane di drenaggio**



***Domenico Pianese***

**Università degli Studi di Napoli Federico II**  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

La realizzazione di interventi infrastrutturali importanti, quali le **reti di drenaggio, urbane** (fognature) e **rurali** (reti di bonifica) sconta la necessità, sempre più attuale in periodi di crisi quale quello che, attualmente, investe l'Economia del Paese e, più in generale, della Zona EU, di:

- ❖ **Ridurre i costi di realizzazione e di gestione di tali reti**
- ❖ **Provare a realizzare non tanto sistemi ex novo, bensì ad eseguire una riabilitazione delle infrastrutture a rete esistenti**
- ❖ **Pertanto, a mettere a punto delle tecniche e dei modelli di analisi dei sistemi fognari esistenti e di quelli da progettare ex-novo basati su criteri di minimizzazione dei costi, di massimizzazione dell’Affidabilità, di minimizzazione dei costi conseguenti al rischio di insufficienza e di eventuali allagamenti**

Oggigiorno, è possibile utilizzare procedure di dimensionamento, nonché di verifica, molto più raffinate e oggettive rispetto a quelle impiegabili fino a una trentina di anni fa.

Ciò è reso oggi possibile grazie:

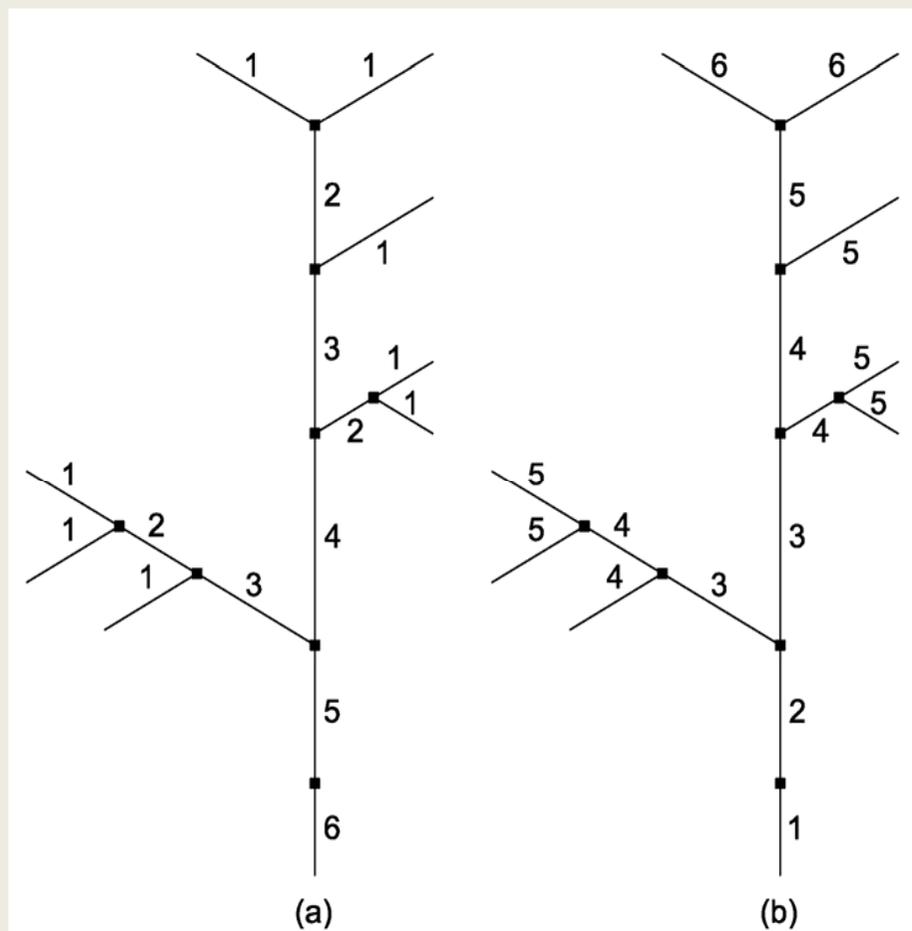
- ❖ alle nuove conoscenze tecniche in campo Idrologico, Idraulico, Probabilistico, Numerico, ecc;
- ❖ alla diffusione di metodi di calcolo prima appannaggio di pochi;
- ❖ alla diffusione di elaboratori elettronici sempre più veloci e potenti;
- ❖ alla fruibilità in campo tecnico di nuove metodologie di calcolo;
- ❖ alla disponibilità di codici di calcolo Freeware.

Una volta divenute uno standard nella pratica tecnica, tali procedure consentirebbero:

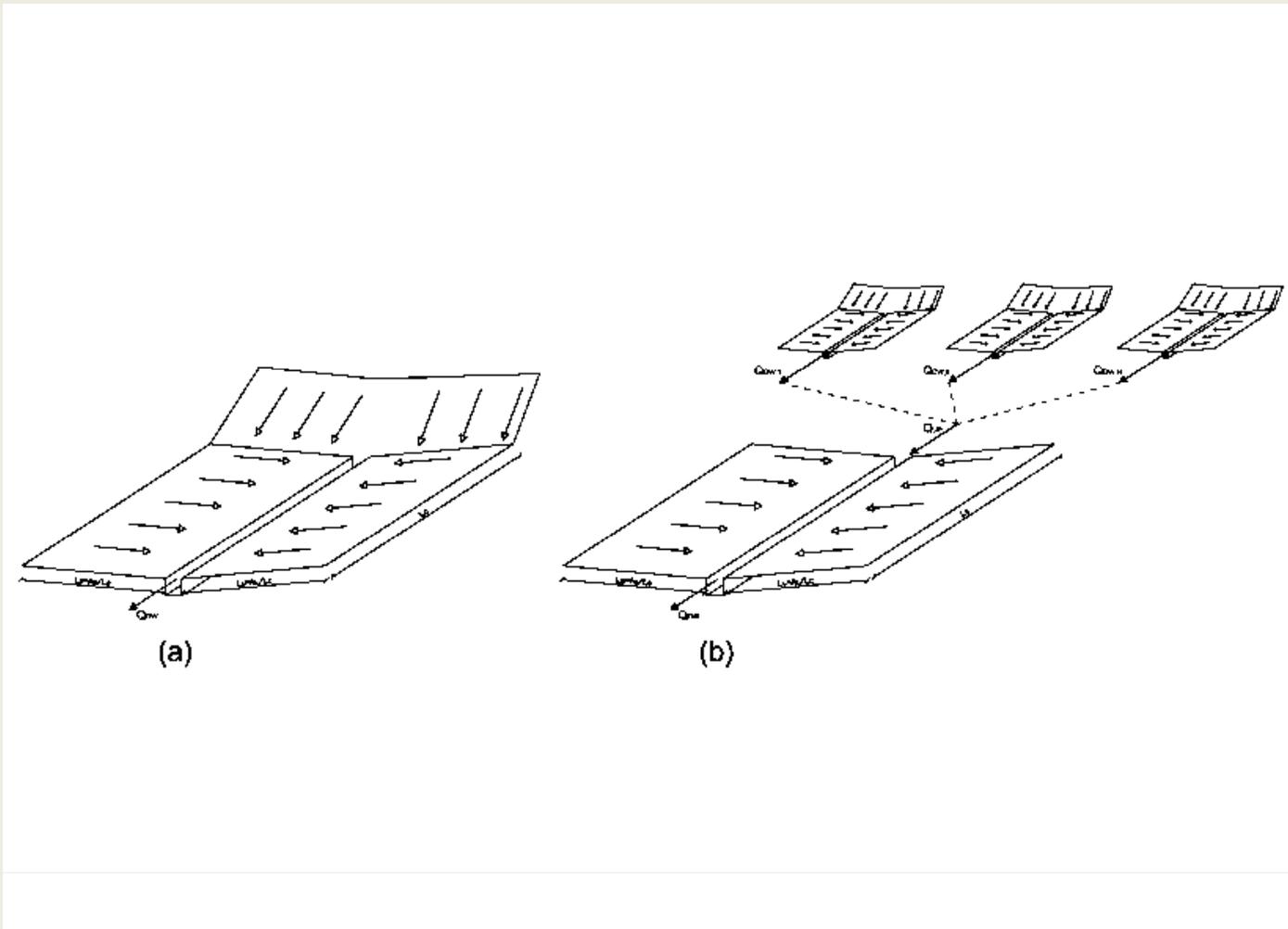
- ❖ un uso molto più efficace delle limitate risorse economiche disponibili per la realizzazione di nuove reti di bonifica e/o per la manutenzione delle stesse;
- ❖ di indirizzare, in modo molto più oggettivo e fisicamente basato, le politiche di intervento sul territorio.

**APPLICAZIONE A PROBLEMI DI  
PROGETTAZIONE, EX NOVO, DI UNA RETE  
FOGNARIA MISTA**

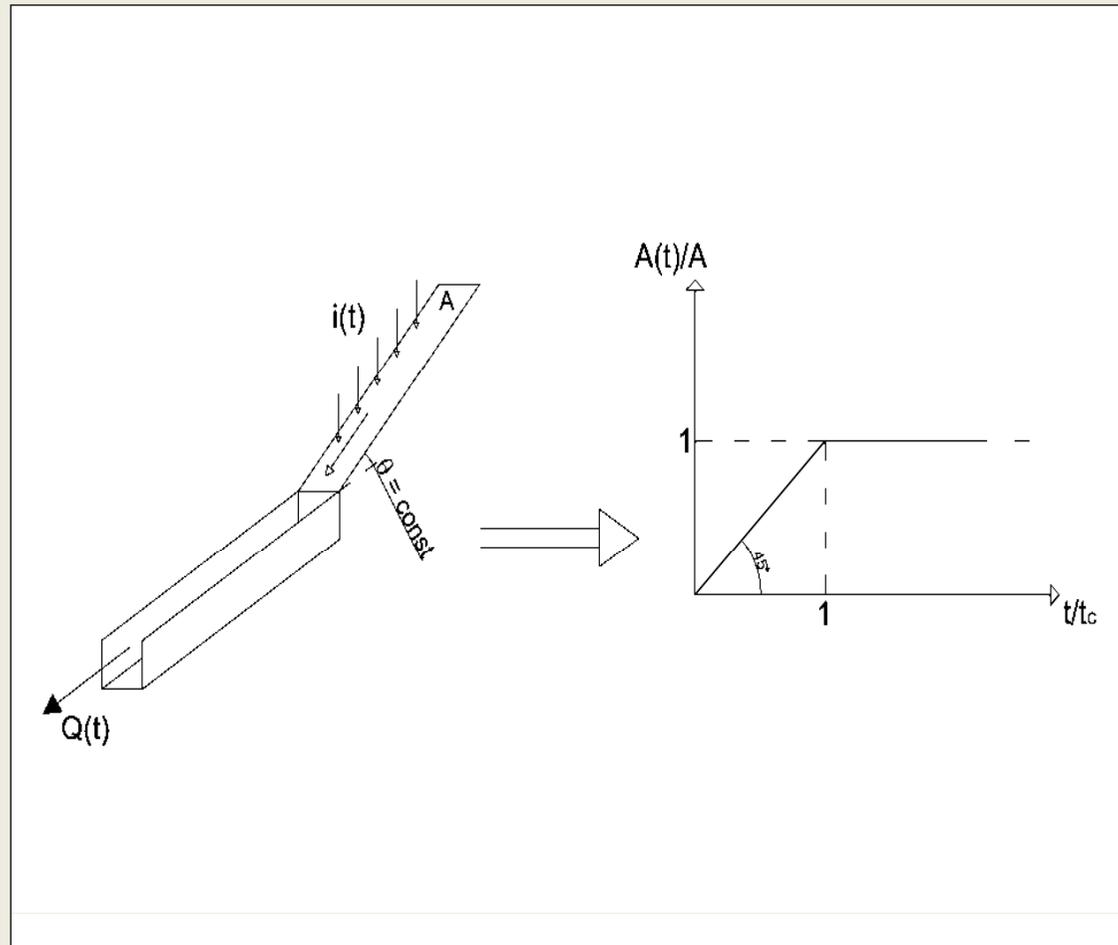
## Schematizzazione e ordinamento del reticolo: diretta e inversa



## Schematizzazione delle modalità di afflusso



## Approccio semplificato per le modalità di afflusso



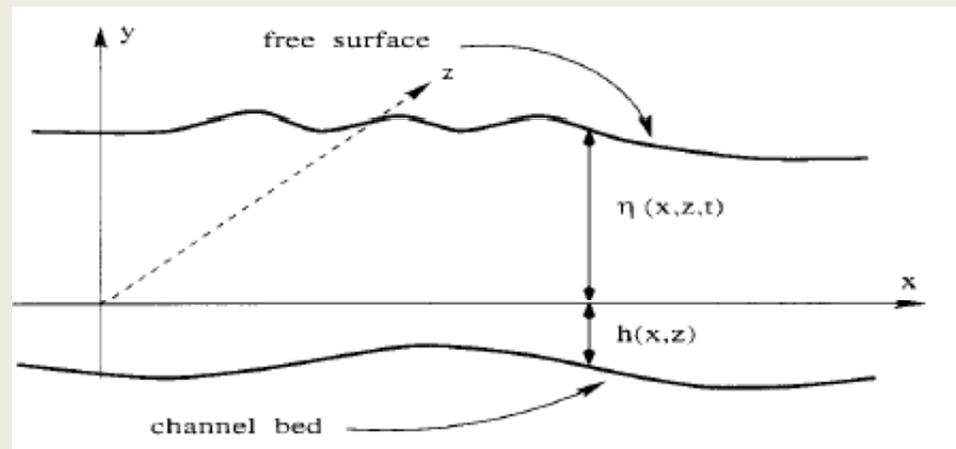
## Modellazione Dinamica Completa Governing Equations

### ❖ Equazione di Continuità

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \Omega}{\partial t} = q$$

### ❖ Equazione del Moto

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} (V^2 \Omega) + \frac{\partial h}{\partial x} - (i - J) = 0$$



## Modellazione Dinamica Completa Integrazione Numerica

### ❖ Volumi Finiti

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{U})}{\partial x} + \mathbf{H}_x(\mathbf{U}) \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} = 0$$



$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \mathbf{U}_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \mathbf{f}_{HLLC}(\mathbf{u}_{i+1/2}^-, \mathbf{u}_{i+1/2}^+) - \mathbf{f}_{HLLC}(\mathbf{u}_{i-1/2}^-, \mathbf{u}_{i-1/2}^+) \right] \\ + \frac{\Delta t}{\Delta x} [\mathbf{s}_\phi(\mathbf{U}_{i-1/2}^+, \mathbf{U}_i^n) + \mathbf{s}_\phi(\mathbf{U}_i^n, \mathbf{U}_{i+1/2}^-)]$$

## Modellazione Dinamica Completa Integrazione Numerica

### ❖ Differenze Finite – Preissmann a 4 punti

$$\text{a) } (1 - \vartheta) \left[ \frac{Q_{i+1,l}^k - Q_{i,l}^k}{\Delta x_i} \right] + \vartheta \left[ \frac{Q_{i+1,l}^{k+1} - Q_{i,l}^{k+1}}{\Delta x_i} \right] + (1 - \psi) \frac{\Omega_i^{k+1} - \Omega_i^k}{\Delta t_k} + \psi \frac{\Omega_{i+1}^{k+1} - \Omega_{i+1}^k}{\Delta t_k} =$$

$$= (1 - \vartheta) \left[ (1 - \psi) q_{i,l}^k + \psi q_{i+1,l}^k \right] + \vartheta \left[ (1 - \psi) q_{i,l}^{k+1} + \psi q_{i+1,l}^{k+1} \right]$$

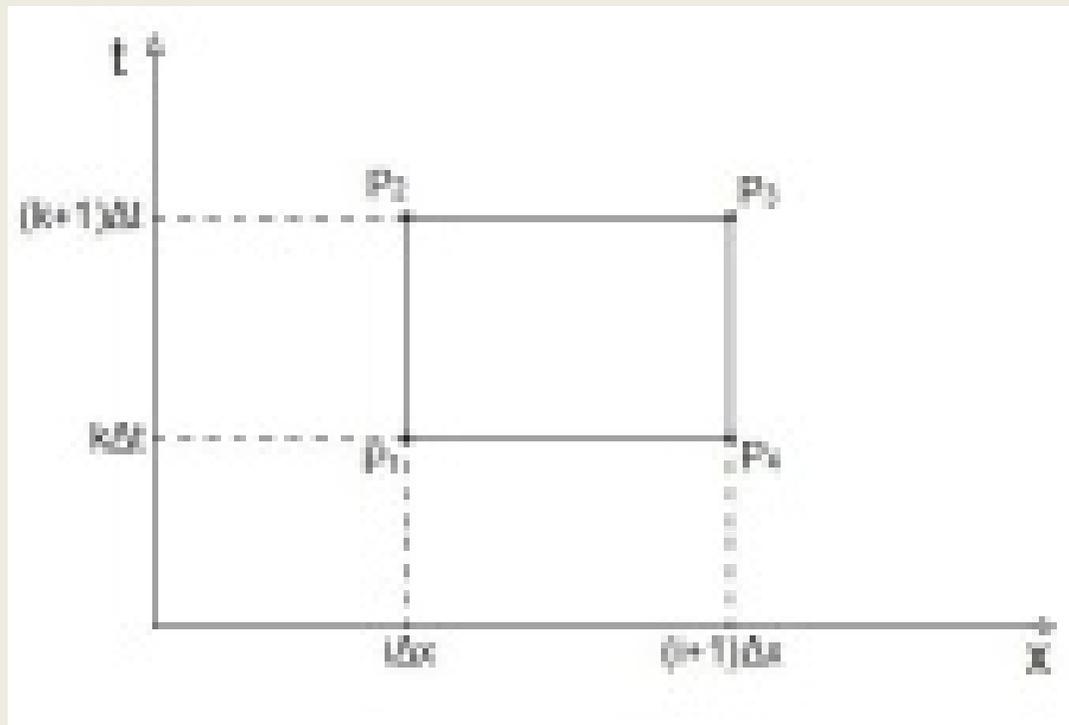
$$\frac{[(1 - \psi)(Q_{i,l}^{k+1} - Q_{i,l}^k) + \psi(Q_{i+1,l}^{k+1} - Q_{i+1,l}^k)]}{\Delta t_k} +$$

$$\text{b) } + (1 - \vartheta) \left\{ \frac{(Q^2/\Omega)_{i+1,l}^k - (Q^2/\Omega)_{i,l}^k}{\Delta x_l} + g \left[ (1 - \psi) \Omega_{i,l}^k + \psi \Omega_{i+1,l}^k \right] \left[ \frac{h_{i+1,l}^k - h_{i,l}^k}{\Delta x_l} - \sin \left( \text{atn} \frac{\Delta z_l}{n_l \Delta x_l} \right) + [(1 - \psi) J_{i,l}^k + \psi J_{i+1,l}^k] \right] \right\} +$$

$$+ \vartheta \left\{ \frac{(Q^2/\Omega)_{i+1,l}^{k+1} - (Q^2/\Omega)_{i,l}^{k+1}}{\Delta x_l} + g \left[ (1 - \psi) \Omega_{i,l}^{k+1} + \psi \Omega_{i+1,l}^{k+1} \right] \left[ \frac{h_{i+1,l}^{k+1} - h_{i,l}^{k+1}}{\Delta x_l} - \sin \left( \text{atn} \frac{\Delta z_l}{n_l \Delta x_l} \right) + [(1 - \psi) J_{i,l}^{k+1} + \psi J_{i+1,l}^{k+1}] \right] \right\} = 0$$

## Integrazione Numerica

### ❖ Differenze Finite – Preissmann a 4 punti



## Modellazione Idraulica Semplificata

$$Q = C \Omega \sqrt{R} \sqrt{i - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} (V^2 \Omega) + \frac{\partial h}{\partial x} - (i - J) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -J$$

$$i = J$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -J$$

## Modellazione Idraulica Semplificata

### ❖ Modello Parabolico

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -J$$

Assenza di termini che portano in conto gli effetti delle inerzie locali e di quelle convettive

- In quasi tutti i casi di interesse tecnico, il peso dei termini trascurati risulta inferiore al 4% dell'insieme di tutti i termini contenuti nell'equazione del moto;
- I risultati ottenuti con l'ausilio del modello parabolico completo si discostano molto poco da quelli ottenibili con l'ausilio di un modello dinamico completo quale HEC-Ras o SWMM-5.

## Modellazione Idraulica Semplificata

### ❖ Modello Parabolico Linearizzato

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = Cq - D \frac{\partial q}{\partial x} + D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \\ J + \frac{\partial}{\partial x}(z+h) = 0 \end{array} \right.$$



$$Q(x,t) = Q_0 + Q'(x,t) + e_Q(x,t)$$

$$h(x,t) = h_0 + h'(x,t) + e_h(x,t)$$

$$B_s(x,t) = (B_s)_0 + B'_s(x,t) + e_{B_s}(x,t)$$

$$q(x,t) = q_0 + q'(x,t) + e_q(x,t)$$



$$Q(i+1, k+1) = \sum_{m=1}^{k+1} Q(i, m) \bar{U}_{i+1, k}(k+1-m) + \sum_{m=1}^{k+1} q(i+1, m) \bar{UL}_{i+1, k}(k+1-m)$$

## Modellazione Idraulica Semplificata

### ❖ Modello Cinematico

#### Equazione di Continuità

$$(1-g) \left[ Q_{i+1,l}^k + \frac{\Delta x_l}{2} (q_{i,l}^k + q_{i+1,l}^k) - Q_{i,l}^k \right] + g \left[ Q_{i+1,l}^{k+1} + \frac{\Delta x_l}{2} (q_{i,l}^{k+1} + q_{i+1,l}^{k+1}) - Q_{i,l}^{k+1} \right] = \frac{\Delta x}{2\Delta t} \left\{ [\Omega_{i,l}^{k+1} - \Omega_{i,l}^k] + [\Omega_{i+1,l}^{k+1} - \Omega_{i+1,l}^k] \right\}$$

#### Equazione del Moto

$$(1-g) \left[ \frac{(Q_{i,l}^k)^2}{(C_{i,l}^k \Omega_{i,l}^k)^2 R_{i,l}^k} + \frac{(Q_{i+1,l}^k)^2}{(C_{i+1,l}^k \Omega_{i+1,l}^k)^2 R_{i+1,l}^k} \right] + g \left[ \frac{(Q_{i,l}^{k+1})^2}{(C_{i,l}^{k+1} \Omega_{i,l}^{k+1})^2 R_{i,l}^{k+1}} + \frac{(Q_{i+1,l}^{k+1})^2}{(C_{i+1,l}^{k+1} \Omega_{i+1,l}^{k+1})^2 R_{i+1,l}^{k+1}} \right] = 2 i_l$$

## Modelli Fisicamente Basati

Vengono risolte le equazioni fisiche dei diversi processi idraulici e idrologici.

## Modelli Concettuali

Schematizzazione dei fenomeni fisici della trasformazione senza risolvere le equazioni fisiche dei processi.

- **Canali (lineari)** rappresentano solo il trasferimento temporale delle acque meteoriche (metodo Cinematico)
- **Serbatoi (lineari)** rappresentano le diverse forme di immagazzinamento dell'acqua per mezzo di uno o più serbatoi (metodo dell'Invaso).

## Modelli Empirici (black-box)

Non rappresentano i fenomeni fisici. Accettano una funzione di input (ietogramma) e forniscono una funzione di output (idrogramma)

La progettazione di una rete di drenaggio deve contemperare:

- ❖ la necessità di **contenere i costi** di realizzazione e di esercizio;
- ❖ la necessità di **convogliare, senza esondazioni, le portate di piena** di prefissato periodo di ritorno;
- ❖ la necessità che in normale funzionamento (portate di magra), vengano rispettati i valori dei franchi di buona coltivazione;
- ❖ la necessità di **limitare le velocità** delle portate defluenti per evitare pericolosi **fenomeni erosivi**.

Tenendo conto di:

- ❖ la **scarna informazione pluviometrica** usualmente a disposizione;
- ❖ la ridotta conoscenza di come gli afflussi meteorici si trasformano in portate affluenti alla rete;
- ❖ le reali modalità con cui tali portate si propagano all'interno della rete.

## Optimal Design

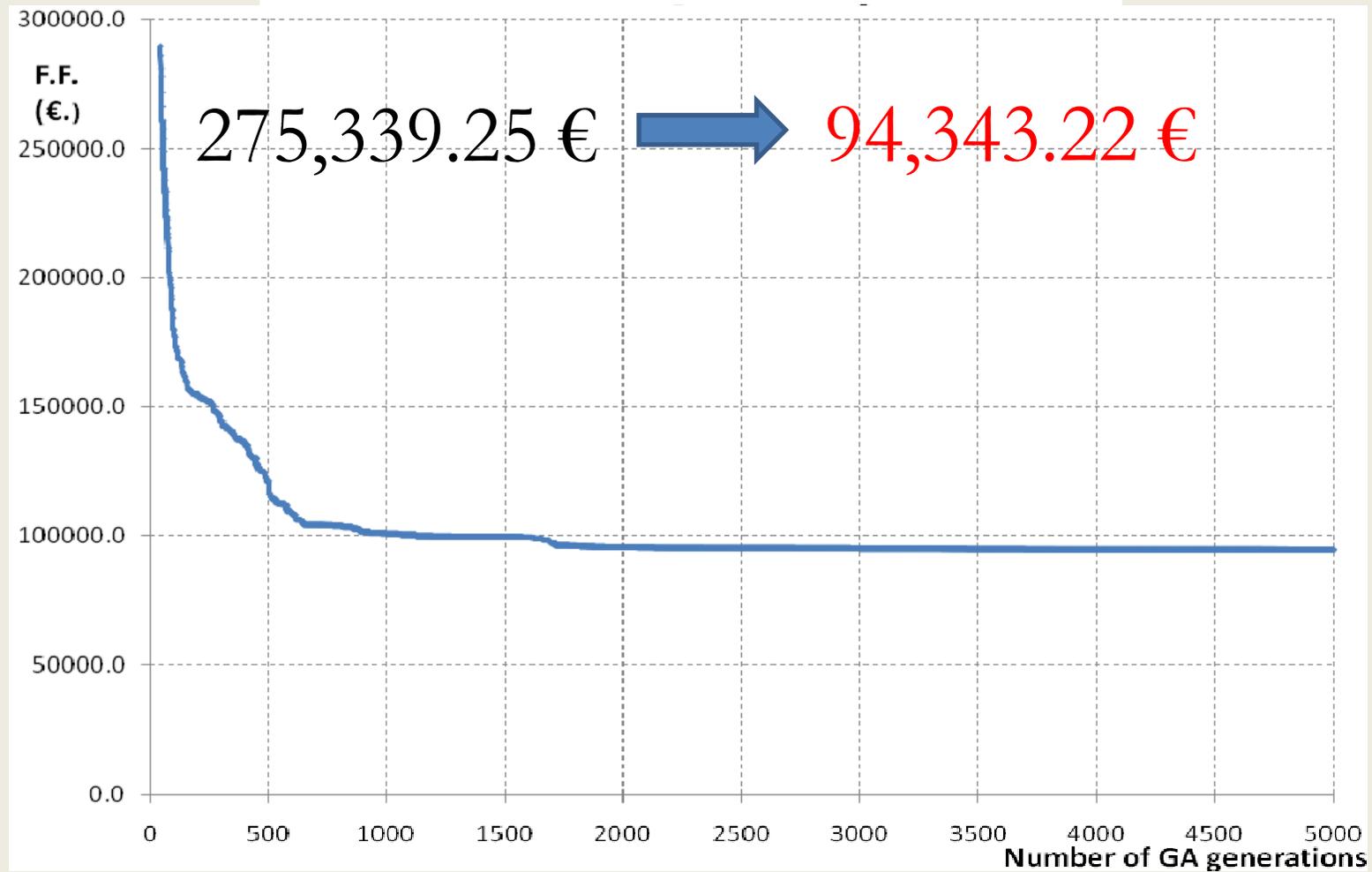
Ricerca della soluzione attraverso l'individuazione dei valori delle variabili del problema soggette ad un sistema di vincoli per i quali una funzione delle variabili coinvolte nel problema di ottimizzazione (funzione obiettivo) assuma il valore minimo o massimo

La funzione obiettivo può portare in conto diversi aspetti: il costo di realizzazione della rete, i costi di gestione ordinaria e straordinaria e i costi aggiuntivi connessi con l'eventuale incapacità della rete di soddisfare i vincoli imposti

## Algoritmi Genetici

- 1) generazione casuale di una popolazione di individui;
- 2) utilizzo del solutore Idrologico-Idraulico per la determinazione delle portate al colmo di piena e dei massimi tiranti in determinate sezioni di controllo;
- 3) calcolo della funzione di fitness;
- 4) operazione di elitismo;
- 5) operazione di selezione;
- 6) operazione di crossover;
- 7) operazione di mutazione;
- 8) reiterazione dal punto 2 al punto 7 fino al numero di iterazioni prescelte.

## Algoritmi Genetici – Esempio Applicativo



**APPLICAZIONE A PROBLEMI DI  
RIABILITAZIONE DI UNA RETE FOGNARIA  
PREESISTENTE**

# Vasche di laminazione da inserire lungo tratti esistenti ■ 18

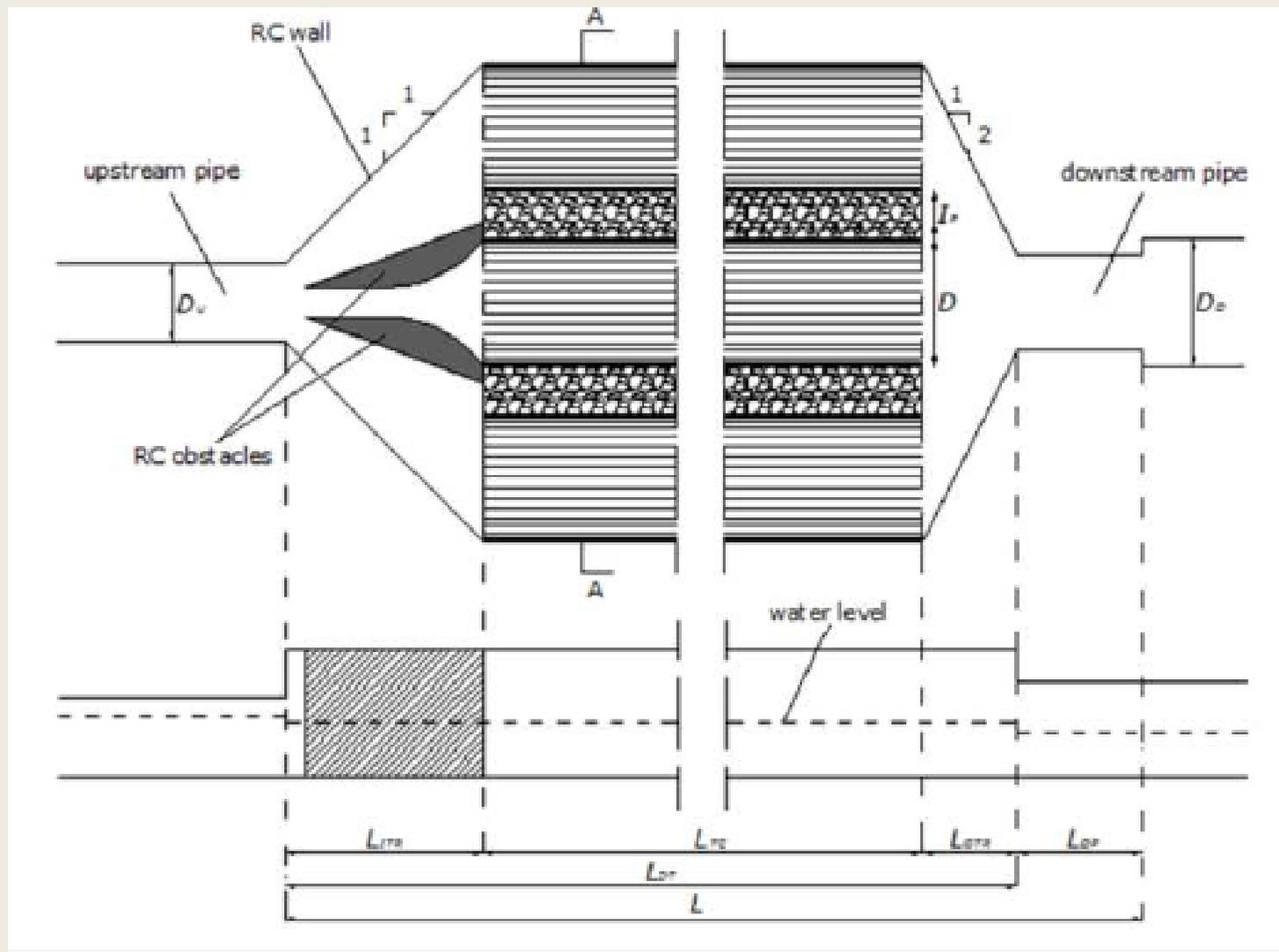
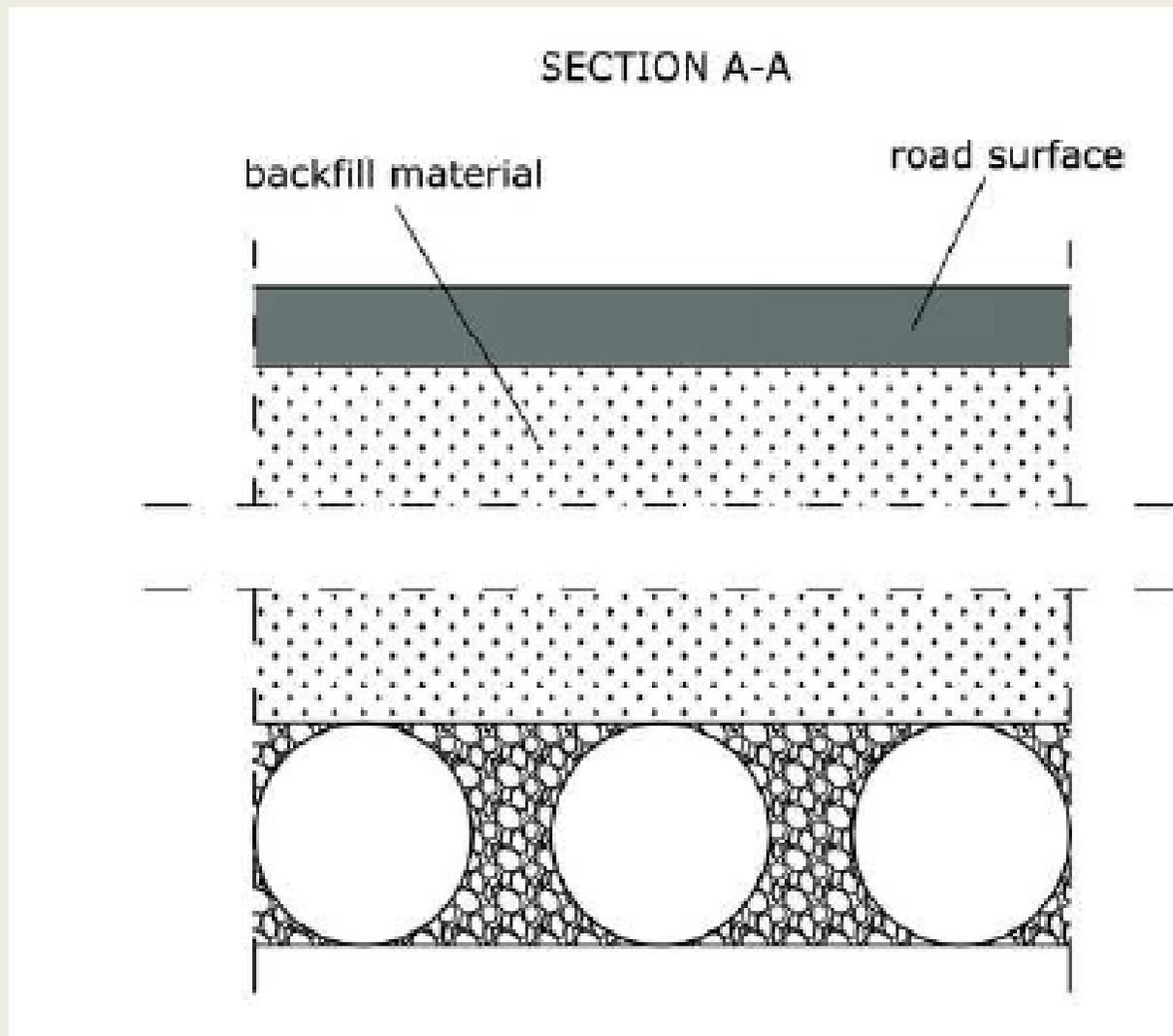


Fig. 1. Tipologia di vasca di laminazione utilizzabile nelle reti fognarie



*Fig. 2 - Tipologia di vasca di laminazione utilizzabile nelle reti fognarie – Sezione Trasversale*

$$L_{DT} = L_{TC} + L_{ITR} + L_{OTR} + L_{DP}$$

$$L_{TC, \max} = L - L_{ITR} - L_{OTR}$$

$$L_{ITR} = \frac{1}{2} [kD_{TC} + (k-1)I_P - D_U]$$

$$\text{Angolo Planimetrico} = 45^\circ$$

$$L_{OTR} = \frac{1}{4} [kD_{TC} + (k-1)I_P - D_D]$$

$$\text{Angolo Planimetrico} = 22.5^\circ$$

Dove:

- $L_{DT}$  è la lunghezza complessiva del tratto fognario lungo il quale inserire la vasca;
- $L_{TC}$  è la lunghezza del tratto interessato dalla presenza dei  $k$  moduli uguali costituenti la zona centrale della vasca di laminazione;
- $L_{ITR}$  è la lunghezza del tratto di raccordo tra la tubazione di monte e i  $k$  moduli
- $L_{ID}$  è la lunghezza del tratto di tubazione non sostituito, posto a valle

Le variabili del problema sono:

- Il numero di sistemi di laminazione da inserire in rete;
- I tratti in cui sono inserite le varie vasche;
- Il diametro  $D$  delle tubazioni costituenti la vasca;
- Il numero  $k$  di tubazioni costituenti la vasca;
- La lunghezza  $L_{TN}$  delle tubazioni costituenti il tratto rettilineo della vasca;

$$V_{T,j} \leq V_{\text{lim},j}, \quad j \in \Omega_r$$

$$h_{T,j} \leq h_{\text{lim},j}, \quad h_{\text{lim},j} = \max\{0.90 D_j, D_j - 0.10\}, \quad j \in \Omega_r$$

$$h_{T,j} + z_{n,j} \leq 0.90 D_k + z_{n,k} \quad n \in \Omega_n, \quad j = \omega_{up}(n), \quad k \in \Omega_{dw}(n)$$

$$\sum_{j \in \Omega_r} \delta_j \leq N_{\text{max}}$$

$$\begin{aligned}
 PEN = & p_h \sum_{j \in \Omega_r} \max\{0, h_{T,j} - h_{\text{lim},j}\} + p_V \sum_{j \in \Omega_r} \max\{0, V_{T,j} - V_{\text{lim},j}\} + \\
 & + p_n \sum_{\substack{n \in \Omega_n \\ j \in \omega_{up}(n) \\ k \in \Omega_{dw}(n)}} \max\{0, h_{T,j} + z_{n,j} - 0.90D_j - z_{n,k}\} + p_N \max\left\{0, \sum_{j \in \Omega_r} \delta_j - N_{\text{max}}\right\}
 \end{aligned}$$

$$OF = \sum_{j \in \Omega_r} \delta_j C_j(D_j, k_j, L_{TC,j})$$

$$FF = OF + PEN$$

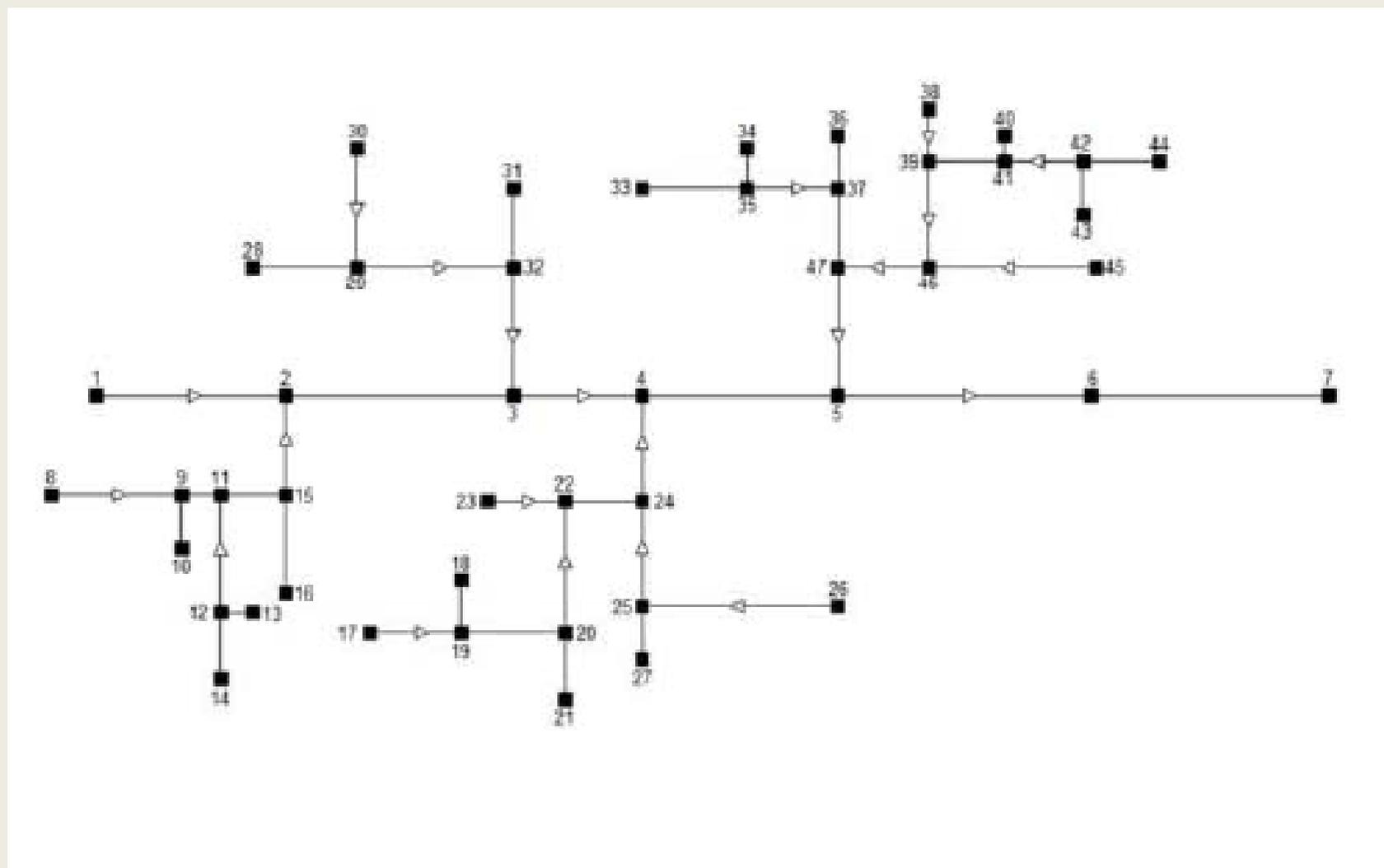
La procedura di ottimizzazione è stata realizzata attraverso l'utilizzo di un **algoritmo genetico**.

Il suddetto algoritmo è stato leggermente modificato, soprattutto allo scopo di rendere ripetibili le simulazioni effettuate.

### **Passi:**

- Generazione di una Popolazione di N «individui» equiprobabili;
- Selezione degli individui;
- Applicazione della procedura di Cross-Over;
- Applicazione della procedura di Mutazione;
- Applicazione della Procedura di Elitismo;

# ESEMPIO APPLICATIVO DI RIABILITAZIONE DI UNA RETE FOGNARIA ■ 27



*Fig. 3 – Esempio applicativo di una rete fognaria da riabilitare per insufficienza di alcuni tratti*

**Table 2.** HHSDM-2 modelling options.

Module	Modelling options
Storm	Tabulated hyetograph Neyman-Scott hyetograph with correction by Cowpertwait (2010) Chicago storm hyetograph Rectangular hyetograph from IDF curve
Infiltration	Runoff Coefficient Curve Number Philip's Equation Horton's Equation Green-Ampt Method
Overland flow	Time-area method (Ponce 1989) Modified Rational Method (Walesh 1975, Smith and Lee 1984, Guo 2003) Cascade of linear reservoirs Muskingum method (Chow et al. 1988) Clark's approach Italian Storage Method (Cimorelli et al. 2014b)
Flow propagation	De Saint Venant Equations (FV2RK2 and SV3RK3 by Cozzolino et al. 2012; DBFV1 by Cozzolino et al. 2011, 2014b, 2014c, 2015; HCSF by Cozzolino et al. 2014a; D'Aniello et al., 2014, 2015) Parabolic wave (ILILPM by Cimorelli et al. 2013b, Cimorelli et al. 2014a, Cimorelli et al. 2015) Kinematic wave (CKM by Cimorelli et al. 2013a)

*Fig. 4 – Descrizione delle procedure insite nel modello idrologico-idraulico proposto*

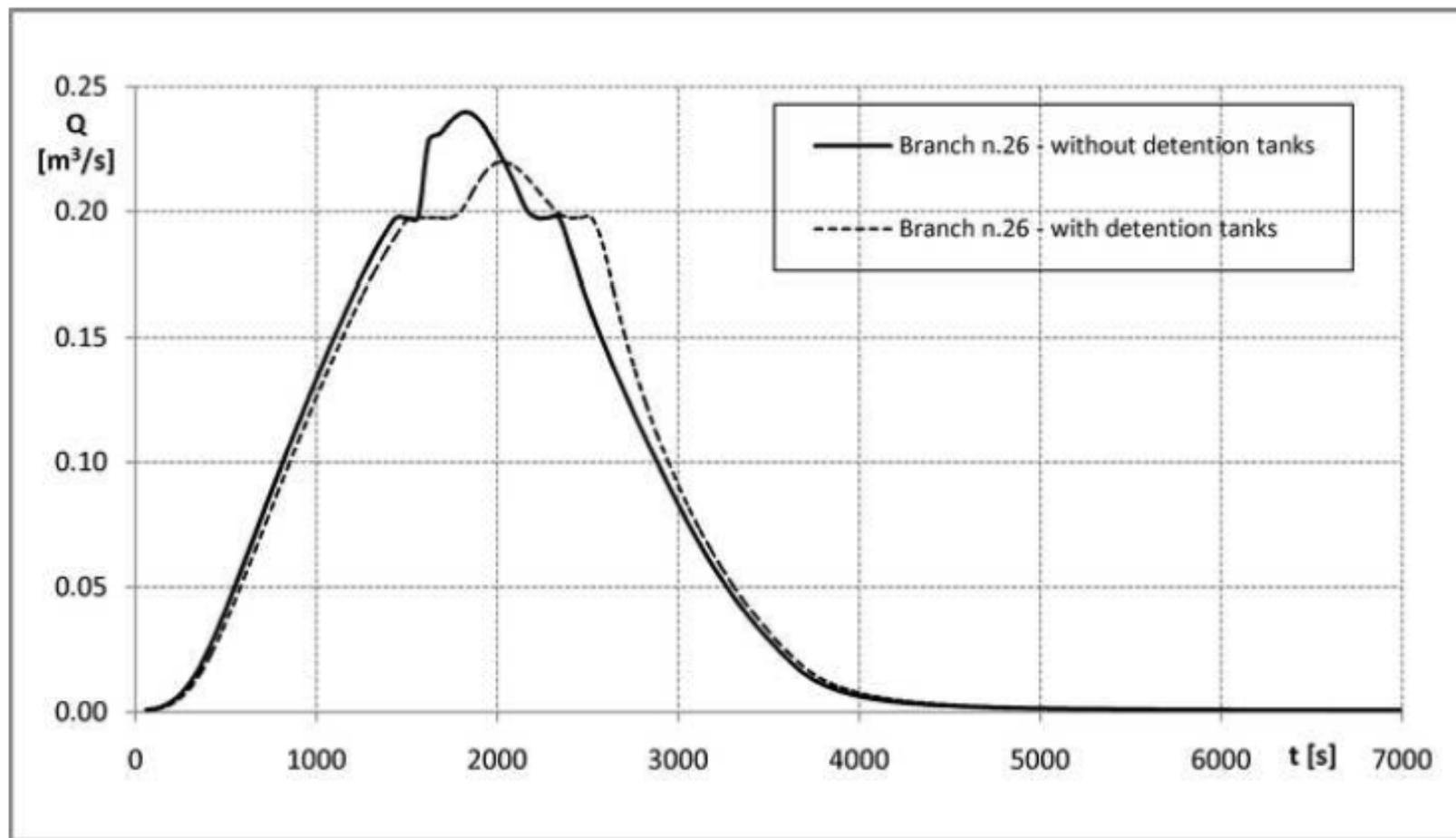


Fig. 5 – Effetto di scoltatura esplicito da una delle vasche di laminazione

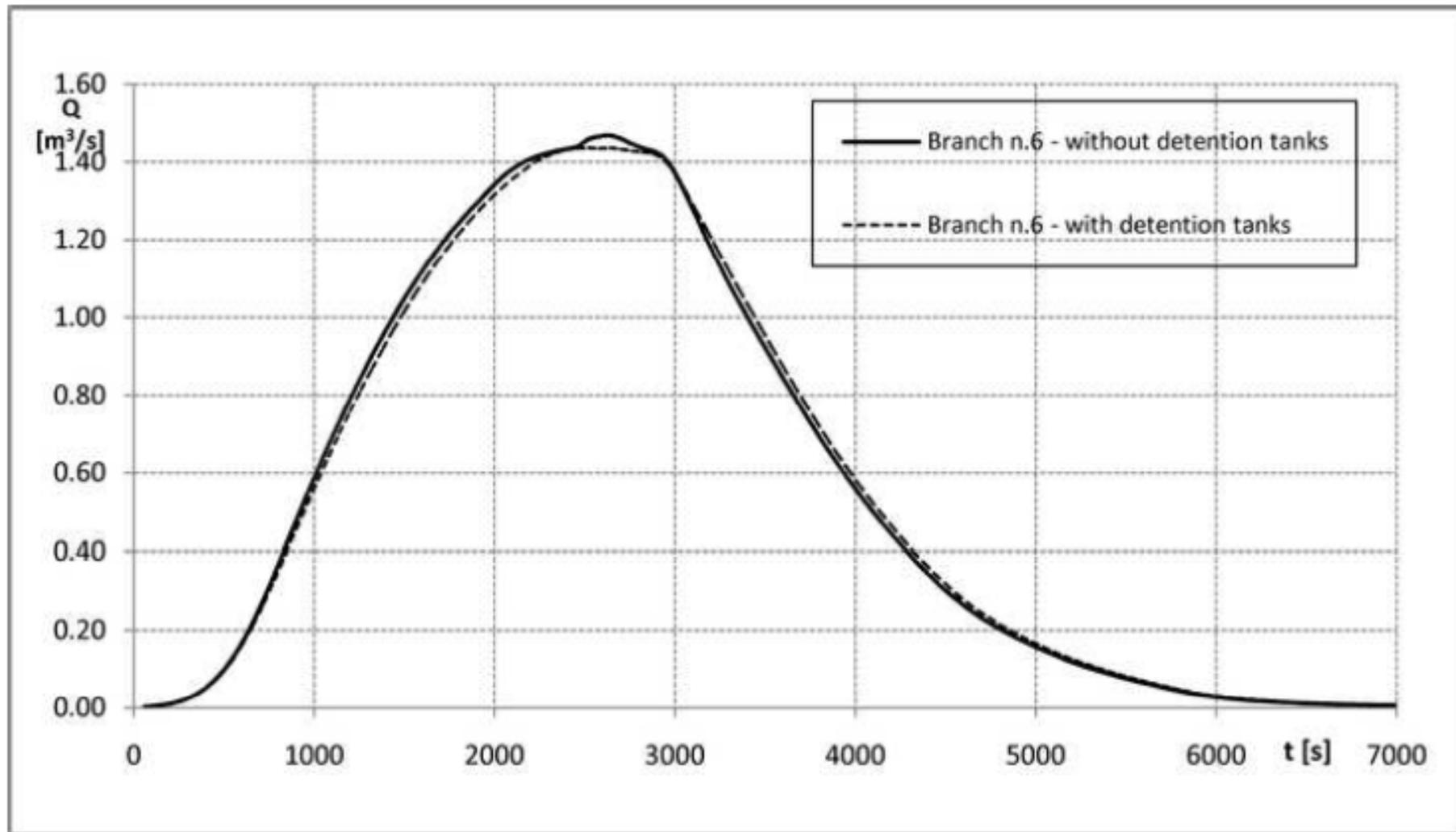


Fig. 6 – Effetto di scollatura esplicito da una delle vasche di laminazione

La procedura di ottimizzazione è stata applicata sia con riferimento al caso di sola sostituzione delle tubazioni strettamente necessarie (N=16), sia nel caso di posizionamento di un numero NV grande a piacere di vasche volano.

Il costo di riabilitazione della rete fognaria è risultato pari a:

- €. **317.773,00** nel caso di sostituzione delle sole tubazioni;
- €. **111.756,00** nel caso di posizionamento di NV=5 vasche

- 1) La progressiva diffusione, dapprima in ambito didattico e, quindi, in campo tecnico, delle conoscenze e delle tecniche messe a punto, nel corso degli ultimi 30 anni, nei settori dell'Idrologia e dell'Idraulica, unitamente alla diffusione di procedure di ottimizzazione, fornisce oggi la possibilità di progettare sistemi di drenaggio, rurali e non, molto più innovativi, affidabili e poco onerosi;
- 2) La progettazione prima, e l'implementazione poi, di specifici percorsi formativi (Lauree Magistrali, Master, Corsi di aggiornamento professionale) e di Protocolli di intesa con Enti e Istituzioni consentirebbe di diffondere ancora maggiormente le conoscenze progressivamente acquisite nel campo delle reti di drenaggio.

Approccio da utilizzare per l'input:

- a) «**Variazionale**» (o «estremante o «massimizzante»), quale quello classicamente utilizzato nel metodo della *Corrivazione semplificato* dalla Scuola Tedesca (Koch, 1926), dalla Scuola bolognese (metodo dell'invaso italiano,), poi generalizzato da Chow (1962), da Meinynk & Cordery (1976), Pianese & Rossi, 1984; Della Morte, Pianese et al. (2001), ?
- b) **Pluviogramma o idrogramma «di progetto»**, (approccio alla Keifer & Chu, 1957), oppure su idrogrammi a loro volta «massimizzanti (Blue, Villani & Rossi, 1992), etc.;
- c) **Generazione stocastica di eventi meteorici equiprobabili** (Neymann-Scott, Copterwait, etc.)?

---

# Grazie per l'attenzione