

Scheda sul sito >



# HydroTOOL

CALCOLO DI RETI IDRICHE IN PRESSIONE

GIUSEPPE GIULIANO

# HydroTool

## Calcolo di reti idriche in pressione



Dario Flaccovio Editore

Giuseppe Giuliano

HYDROTOOL – Calcolo di reti idriche in pressione

ISBN 978-88-579-0125-1

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it)    [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: aprile 2012

Giuliano, Giuseppe <1971->

HYDROTOOL : calcolo di reti idriche in pressione / Giuseppe Giuliano. -

Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0125-1

1. Reti idrauliche in pressione.

628.14 CDD-22

SBN Pal0241988

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, aprile 2012.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

*A mio figlio*

## Premessa

Il calcolo idraulico delle reti idriche in pressione è un passo cruciale nella progettazione e verifica delle reti di adduzione e di distribuzione.

Ad oggi, al professionista che voglia avvalersi di strumenti informatici si presentano due possibilità per molti versi antitetiche: utilizzare software molto potenti e versatili, ma anche molto costosi e spesso sovradimensionati rispetto alle effettive necessità o ricorrere a strumenti obsoleti, privi di interfaccia grafica, il cui utilizzo risulta macchinoso, comporta notevoli perdite di tempo ed espone a un elevato rischio di commettere errori.

Al fine di colmare questo divario, l'autore si è riproposto di sviluppare un software dal semplice utilizzo, basato però su un motore di calcolo potente e affidabile e dotato di un'interfaccia grafica moderna.

A garanzia dell'affidabilità dei risultati, si è scelto di utilizzare come motore di calcolo il programma EPANET, noto software di pubblico dominio sviluppato dalla Environmental Protection Agency degli Stati Uniti e adottato anche da alcuni noti software commerciali, mentre l'interfaccia grafica è stata implementata per mezzo di un motore grafico open source. L'intera applicazione è stata sviluppata utilizzando un moderno linguaggio a oggetti. Si tratta pertanto di un'applicazione facilmente estendibile, che potrà essere arricchita nel tempo con nuove funzionalità.

Il presente testo si articola in tre parti, la prima si propone di richiamare succintamente la teoria del calcolo idraulico delle reti in pressione, introdurre la cornice normativa di riferimento ed accennare infine alle caratteristiche dei materiali più comunemente utilizzati per le tubazioni. Segue poi la parte di descrizione del software allegato, con la disamina dettagliata dell'ambiente di lavoro, dei menu e dei comandi. Infine, nella terza parte, viene proposto un esempio di applicazione del software, con la verifica idraulica di una rete di adduzione.

L'autore si augura che quanto presentato possa costituire un utile strumento di lavoro per i colleghi.

L'autore

PARTE PRIMA  
Teoria

# 1

## Moto permanente in reti di condotte in pressione

### 1.1. Generalità

Una rete di condotte in pressione può essere considerata come un insieme di collegamenti afferenti a dei nodi.

Ai fini del presente lavoro, i nodi possono essere di due tipi: *nodi-giunzione* (nel seguito denominati semplicemente “nodi”), per i quali è nota la portata erogata, ovvero *nodi-serbatoio* (nel seguito denominati semplicemente “serbatoi”), per i quali è noto il carico piezometrico.

I collegamenti possono essere di tre tipi:

- condotte;
- pompe;
- valvole di regolazione della pressione.

Le incognite del problema di verifica di una rete sono le portate che fluiscono nei collegamenti e il carico idraulico nei nodi. Si tenga presente che, nel caso di moto permanente, queste grandezze non dipendono dal tempo. Le equazioni che permettono di risolvere il problema sono le cosiddette equazioni di *continuità ai nodi* e le equazioni di *bilancio energetico per i collegamenti*, dette anche *equazioni del moto*.

Il problema di verifica risulta così univocamente determinato, essendo in egual numero le equazioni disponibili e il numero di incognite.

### 1.2. Componenti fisici di una rete di distribuzione

#### 1.2.1. Nodi

I nodi sono punti della rete per i quali è fissata la portata erogata. Essi risultano definiti dai seguenti parametri:

- elevazione sopra una quota predefinita (solitamente il livello medio del mare);

- domanda idrica, cioè la portata che esce dalla rete in quel punto, ovvero, nel caso di domanda negativa, la portata immessa in rete in quel punto.

Il risultato del calcolo idraulico per i nodi consiste nelle seguenti grandezze:

- il carico idraulico;
- la pressione.

### *1.2.2. Serbatoi*

I serbatoi sono punti della rete ove risulta fissato il carico idraulico, equivalente al livello del pelo libero dell'acqua nel serbatoio. Si suppone che nei serbatoi la disponibilità idrica sia infinita, pertanto il carico non varia. Il risultato del calcolo idraulico per i serbatoi consiste nella portata idrica erogata o assorbita dal serbatoio.

### *1.2.3. Tubazioni*

Le tubazioni sono dei collegamenti che convogliano l'acqua da un punto a un altro della rete. L'acqua si muove da un estremo all'altro della tubazione fluendo dall'estremo a maggior carico idraulico verso l'altro.

I principali parametri idraulici per le tubazioni sono:

- il nodo iniziale;
- il nodo finale;
- il diametro;
- la lunghezza;
- il coefficiente di scabrezza.

Il risultato del calcolo idraulico per le tubazioni consiste nelle seguenti grandezze:

- la portata convogliata;
- la velocità media dell'acqua nella tubazione;
- la perdita di carico.

In generale, la perdita di carico può essere calcolata secondo varie formule, a seconda del materiale della condotta e del tipo di moto (laminare, turbolento o di transizione). Nel software qui proposto la perdita di carico può esprimersi secondo una delle seguenti formule:



- Hazen-Williams;
- Darcy-Weisbach;
- Chezy-Manning.

Nel Sistema internazionale la formula di Hazen-Williams, valida solamente in regime di moto puramente turbolento e per l'acqua, è la seguente:

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{10.67}{C^{1.85}} \cdot \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}}$$

dove

- $\Delta H$  è la perdita di carico in metri
- $L$  è la lunghezza della condotta in metri
- $C$  è il coefficiente di scabrezza
- $Q$  è la portata convogliata in m<sup>3</sup>/s
- $D$  è il diametro della tubazione in m.

La formula di Manning, utilizzata solitamente per il moto in canali aperti, è la seguente:

$$\frac{\Delta H}{L} = 10.27 \cdot n^2 \cdot \frac{Q^2}{D^{5.33}}$$

dove

- $\Delta H$  è la perdita di carico in metri
- $L$  è la lunghezza della condotta in metri
- $n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning in s/m<sup>1/3</sup>
- $Q$  è la portata convogliata in m<sup>3</sup>/s
- $D$  è il diametro della tubazione in m.

In tabella 1.1 (Rossman, 2000) sono riportati i valori di scabrezza  $C$  di Hazen-Williams,  $n$  di Manning per tubi nuovi per alcuni dei materiali più comunemente utilizzati nelle reti idriche. Tali coefficienti possono variare considerevolmente con l'età della tubazione. Si tenga conto che al crescere dell'età del tubo  $C$  diminuisce mentre  $n$  aumenta.

**Tabella 1.1. Coefficienti di scabrezza  $C$  e  $n$  per tubi nuovi**

Tubazioni	$C$	$n$ (s/m <sup>1/3</sup> )
Plastica	140-150	0.011-0.015
Acciaio	140-150	0.015-0.017
Ghisa	130-140	0.012-0.015
Cemento	120-140	0.012-0.017

Per in tubi di plastica, specialmente se in PVC, il valore di  $C$  non sembra decrescere nel tempo. Per i tubi in ghisa invece  $C$  può decrescere anche considerevolmente col tempo, come mostrato in tabella 1.2 (Brière, 1999). Si sottolinea che, al di là delle indicazioni reperibili in letteratura, sta al progettista saper individuare correttamente il valore di scabrezza, in funzione del tipo di materiale scelto, della vita utile dell'opera e delle altre grandezze fisiche che possono condizionare il processo di invecchiamento della condotta.

**Tabella 1.2. Coefficienti  $C$  per tubi in ghisa al crescere dell'età della tubazione**

Diametro (mm)	Età (anni)				
	10	20	30	40	50
100	105	90	75	65	55
200	110	95	80	70	60
305	110	95	80	75	65
405	110	95	85	80	70
510	110	95	85	80	70
610	110	100	90	85	75

La formula di Darcy-Weisbach, teoricamente più corretta perché adatta alle diverse condizioni del moto (moto laminare, regime di transizione e puramente turbolento), è la seguente:

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{8f}{\pi^2 g} \cdot \frac{Q^2}{D^5}$$

dove

$\Delta H$  è la perdita di carico in metri

$L$  è la lunghezza della condotta in metri

$f$  è il coefficiente di attrito (adimensionale)

$Q$  è la portata convogliata in  $m^3/s$

$D$  è il diametro della tubazione in m.

Per il calcolo di  $f$  viene utilizzata una delle seguenti espressioni:

- la formula di Poiseuille, valida per  $Re < 2000$

$$f = \frac{64}{Re}$$

- una approssimazione della formula di Colebrook-White, valida per  $Re > 4000$ , dove  $\varepsilon$  è la scabrezza equivalente in mm:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.5D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

- un'interpolazione cubica dal diagramma di Moody per  $2000 < Re < 4000$ .

In tabella 1.3 (AA.VV., 2003) sono riportati i valori di scabrezza equivalente  $\varepsilon$  e di Gauckler-Strickler  $k$  per alcuni dei materiali più comunemente utilizzati nelle reti idriche. Si noti che dal valore di  $k$  si può ricavare facilmente il coefficiente di scabrezza di Manning  $n$ , essendo  $n = 1/k$ .

**Tabella 1.3. Coefficienti di scabrezza  $\varepsilon$  e  $k$**

Tipo di condotta	$\varepsilon$ (mm)	$k$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )
<b>Tubazioni tecnicamente lisce</b> (vetro, ottone o rame trafilato, resina)	0-0.02	–
<b>Tubazioni in acciaio</b>		
a) rivestimenti degradabili nel tempo		
– tubi nuovi, verniciati per centrifugazione	0.05	120
– bitumati per immersione	0.10-0.15	100
– in servizio corrente con leggera ruggine	0.2-0.4	90
– con asfalto o catrame applicati a mano	0.5-0.6	85-80
– con tuberculizzazione diffusa	1.0-3.0	75-70
b) rivestimenti non degradabili		
– cemento applicato per centrifugazione	0.05-0.15	120
<b>Tubazioni in ghisa</b>		
– con rivestimento cementizio centrifugato	0.10	105
– nuove, rivestite internamente con bitume	0.15	100
– nuove, non rivestite	0.2-0.4	90
– con lievi incrostazioni	0.4-1.0	85-75
– in servizio corrente, parzialmente arrugginite	1.0-2.0	75-70
– fortemente incrostate	3.0-5.0	65
<b>Tubazioni in cemento</b>		
– cemento amianto	0.10	105
– cem. arm. nuove, intonaco perfettamente liscio	0.10-0.15	100
– cem. arm. con intonaco liscio, in servizio da più anni fino a	2.0	70
– gallerie con intonaco di cemento, a seconda del grado di finitura	2.0-5.0	70-65

### 1.2.4. Pompe

Le pompe sono collegamenti che apportano energia al liquido, innalzano pertanto il carico.

I principali parametri idraulici per le pompe sono:

- il nodo iniziale;
- il nodo finale;
- la curva caratteristica.

Per *curva caratteristica* si intende la relazione che lega la portata fluente con la prevalenza. Tale curva viene determinata fornendo al programma tre punti  $(H, Q)$ . Il software determinerà quindi l'equazione attraverso un'interpolazione non lineare del tipo:

$$h_G = A - Bq^C$$

dove

$h_G$  è la prevalenza

$A, B$  e  $C$  sono delle costanti

$q$  è la portata.

In figura 1.1 è riportato un esempio di curva caratteristica interpolata a partire da tre punti noti.

Il risultato del calcolo idraulico per le pompe consiste nelle seguenti grandezze:

- la portata convogliata;
- la prevalenza fornita dalla pompa al fluido.

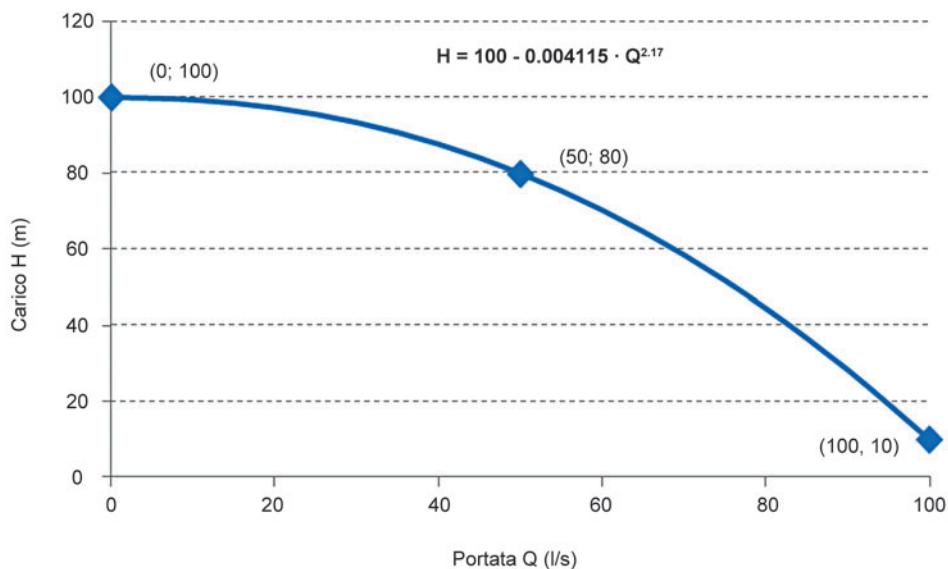


Figura 1.1. Esempio di curva caratteristica

### 1.2.5. Valvole

Le valvole sono collegamenti di lunghezza pressoché nulla che limitano la pressione o la portata in specifici punti della rete. Sebbene in generale sia possibile implementare vari tipi di valvole, nel software proposto si è scelto di implementare unicamente valvole che simulano una parziale chiusura della sezione della condotta, attraverso un coefficiente, fornito dal produttore, che determina la perdita di carico in funzione del grado di apertura della valvola stessa.

La perdita di carico concentrata si esprime attraverso la relazione:

$$\Delta H = K \cdot (V^2/2g)$$

dove

$K$  è il coefficiente di perdita localizzata

$V$  è la velocità media dell'acqua in condotta

$g$  è l'accelerazione di gravità.

Il risultato del calcolo idraulico per le valvole consiste nelle seguenti grandezze:

- la portata convogliata;
- la velocità media dell'acqua;
- la perdita di carico.

## 1.3. Metodi di calcolo

### 1.3.1. Metodo di Hardy-Cross

Il metodo di Hardy-Cross viene citato più per ragioni storiche che per il suo effettivo utilizzo: esso infatti è applicabile solo a reti di tipo chiuso, costituite cioè solamente da maglie, e richiede una descrizione topologica della rete piuttosto complessa.

Un'altra complicazione del metodo consiste nel dover determinare una soluzione iniziale delle portate che sia compatibile con le equazioni di continuità ai nodi. Il calcolo avviene scrivendo poi le equazioni del moto per ogni maglia della rete, assumendo come incognite le portate correttive.

### 1.3.2. Metodo nodale

Il metodo nodale assume come incognite i carichi ai nodi. Si scrivono le

equazioni del moto per ogni collegamento, ottenendo un sistema di dimensione pari al numero dei nodi. Il sistema viene risolto iterativamente con il metodo sviluppato da Todini e Pilati (1987).

Al contrario di quello di Hardy-Cross, tale metodo non presuppone una distribuzione iniziale delle portate che soddisfi necessariamente le equazioni di continuità. A ciascuna sua iterazione viene trovata una nuova soluzione per i carichi risolvendo il sistema:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{H} = \mathbf{F}$$

dove

$\mathbf{A}$  è una matrice jacobiana di dimensione  $N \times N$ , dove  $N$  è il numero dei nodi

$\mathbf{H}$  è il vettore di dimensione  $N \times 1$  dei carichi nodali

$\mathbf{F}$  è il vettore di dimensione  $N \times 1$  che tiene conto del bilancio di massa ai nodi e di un fattore correttivo delle portate.

Gli elementi della matrice jacobiana sono del tipo:

$$\begin{aligned} A_{ii} &= \sum_j p_{ij} && \text{(elementi diagonali)} \\ A_{ij} &= -p_{ij} && \text{(altri elementi non nulli)} \end{aligned}$$

dove  $p_{ij}$  è la derivata inversa rispetto alla portata della perdita di carico tra il nodo  $i$  e il nodo  $j$ .

Dopo aver trovato una nuova soluzione per i carichi, le portate vengono aggiornate secondo la formula:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j))$$

dove  $y_{ij}$  è il fattore correttivo delle portate.

Per i dettagli sulle equazioni utilizzate e l'algoritmo di risoluzione si rimanda al manuale di EPANET (Rossman, 2000).

## 1.4. Quadro normativo

La normativa da osservare nel progetto, costruzione e collaudo di una rete di distribuzione idrica e degli elementi che la costituiscono, quali tubi, giunti e pezzi speciali, è costituita in Italia dal D.M.LL.PP. del 12.12.1985 "Norme tecniche per le tubazioni". A ciò si accompagna la Circolare del Ministero LL.PP. n. 27291 del 20.03.86, contenente le istruzioni relative alla normativa per le tubazioni.

**Avvertenza**

Per non incorrere in errori nel calcolo idraulico, il programma necessita che il formato dei numeri sia il seguente:

- il punto per il separatore decimale     “.”;
- la virgola per il separatore delle migliaia     “,”.

È possibile impostare tale formato modificando le OPZIONI INTERNAZIONALI, raggiungibili attraverso il PANNELLO DI CONTROLLO dei sistemi operativi Windows.

### 3.1.4. Convenzioni

Le unità di misura utilizzate sono:

- per le coordinate dei nodi e dei serbatoi: il metro;
- per le quote e il carico totale: il metro;
- per il carico e la pressione: il metro;
- per le portate e le domande: il litro al secondo;
- per la velocità: il metro al secondo;
- per la perdita di carico: il metro al chilometro;
- per il diametro delle condotte: il millimetro;
- per le scabrezze:
  - adimensionale se si utilizza la formula di Hazen-Williams;
  - $s/m^{1/3}$  se si utilizza la formula di Chezy-Manning;
  - il millimetro se si utilizza la formula di Darcy-Weisbach.

## 3.2. Ambiente di lavoro

All'apertura di *HydroTool*, verrà visualizzata la finestra principale del programma. L'interfaccia grafica utilizza il motore grafico open source “Piccolo2D” ([www.piccolo2d.org/](http://www.piccolo2d.org/)): si tratta di un motore grafico molto potente che consente di sviluppare applicazioni grafiche anche notevolmente complesse, senza doversi preoccupare dei dettagli dell'implementazione a basso livello delle funzionalità grafiche.

L'area di lavoro è distinta in tre parti:

- la barra dei menu;
- la toolbar;
- l'area di disegno;
- la barra di stato.

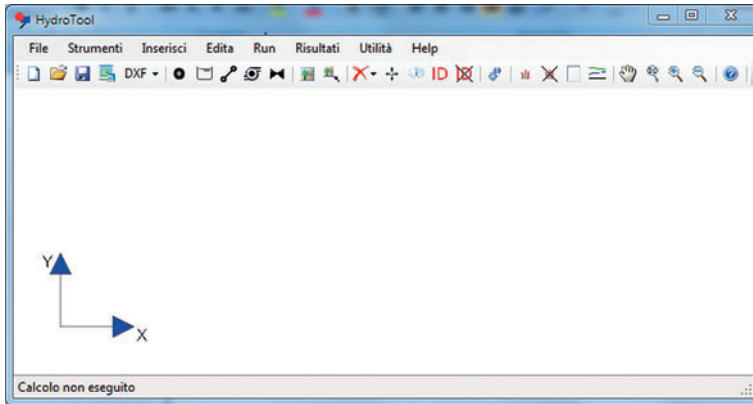


Figura 3.1. Finestra PRINCIPALE

Ciascun comando può essere eseguito via menu o, in alternativa, attraverso il tasto corrispondente della toolbar. Le uniche operazioni che possono essere eseguite solo via menu sono quelle relative al menu STRUMENTI, che consente di settare le opzioni e i parametri del programma.

La toolbar è divisa in sei sottogruppi e contiene i comandi relativi a:

- GESTIONE FILE DI PROGETTO;
- INSERIMENTO DELLA RETE;
- GESTIONE IMMAGINE DI SFONDO;
- GESTIONE OGGETTI DELLA RETE IDRICA;
- CALCOLO;
- ANALISI DEI RISULTATI;
- OTTIMIZZAZIONE DELLA VISUALIZZAZIONE;
- AIUTO.

L'area di disegno mostra gli assi cartesiani di riferimento. La rete idrica verrà visualizzata in automatico man mano che si procede al suo inserimento. L'interfaccia grafica consente un inserimento intuitivo degli oggetti idraulici, con funzioni di zoom, pan, identificazione, spostamento e modifica degli oggetti, inserimento di uno sfondo immagine di supporto alla creazione della rete idrica, visualizzazione dei risultati, etc.

La barra di stato indica se è stato eseguito o meno il calcolo idraulico.

### 3.3. Iter standard per la verifica di una rete idrica

Il programma consente di seguire vari procedimenti per l'inserimento di



una nuova rete idrica. Tuttavia è consigliabile, preliminarmente all'inserimento della rete, definire alcuni parametri che verranno utilizzati dal software in sostituzione di quelli preimpostati.

Con riferimento al comando `OPZIONI`, è possibile impostare:

- le dimensioni dei nodi e dei serbatoi che verranno utilizzate nel disegno della rete;
- lo spessore dei collegamenti, siano essi tubazioni, pompe o valvole di regolazione della pressione;
- la formula utilizzata per il calcolo delle perdite di carico;
- il fattore di accuratezza che controlla il raggiungimento della convergenza dell'algoritmo di calcolo e il numero massimo di iterazioni entro cui raggiungerla;
- i limiti sulle velocità e sulle pressioni, che saranno poi verificati a valle del calcolo idraulico.

Con riferimento al comando `PERSONALIZZA` è invece possibile:

- impostare la quota e la portata erogata di default dai nodi;
- impostare il carico di default dei serbatoi;
- aggiungere una nuova tipologia di condotta, definendone il diametro interno, il materiale e la scabrezza;
- aggiungere una nuova tipologia di pompa, definendone la curva caratteristica;
- aggiungere una nuova tipologia di valvola, definendone il diametro e il coefficiente di perdita di carico localizzata.

Quando si procederà all'inserimento effettivo dei nodi e dei serbatoi, sarà possibile modificare caso per caso i valori di default definiti. Si noti che non è possibile inserire alcun tratto di condotta, pompa o valvola se non viene prima definita la condotta, pompa o valvola attiva, in quanto il software utilizza le caratteristiche di quest'ultima per definire le proprietà dei tratti inseriti. Completate queste operazioni preliminari, è possibile passare all'inserimento della rete idrica.

Relativamente all'inserimento dei nodi e dei serbatoi, è possibile seguire due modalità:

- inserimento grafico diretto, con o senza immagine di sfondo;
- importazione da file `DXF`.

Nel caso di inserimento grafico diretto, è possibile modificare le coordinate del nodo e la portata erogata prima dell'inserimento effettivo. Nel caso

invece in cui si proceda ad importare un file DXF, verrà creato un nodo o un serbatoio per ciascun punto presente rispettivamente nel layer NODI o SERBATOI.

Va sottolineato che l'inserimento delle condotte, pompe e valvole è invece esclusivamente di tipo grafico. È possibile inserire ognuno di questi oggetti cliccando su un nodo o serbatoio qualsiasi e, tenendo premuto il

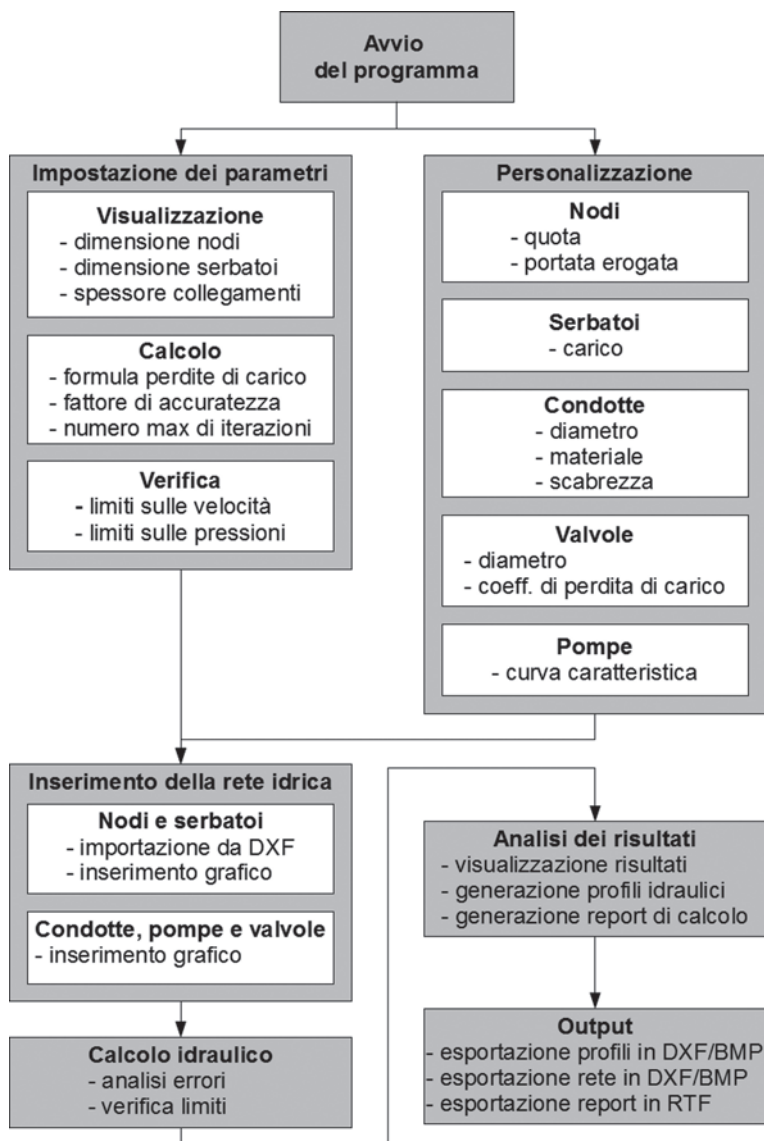


Figura 3.2. DIAGRAMMA A BLOCCHI DELL'ITER STANDARD DI VERIFICA DI UNA RETE

tasto sinistro del mouse, trascinando la linea visualizzata su un altro nodo o serbatoio. Verrà creato un oggetto idraulico con le caratteristiche del corrispondente elemento attivo.

Inserita la rete, si può lanciare il calcolo idraulico, procedere alla visualizzazione dei risultati, alla creazione dei profili idraulici e alla generazione e salvataggio del report di calcolo. In sintesi, l'intero iter è riportato in figura 3.2.

# 5

## IL MANUALE D'USO

### 5.1. Comandi e menu

#### 5.1.1. Menu FILE

I comandi del menu FILE consentono di effettuare operazioni relative ai file di progetto, nonché di importare ed esportare la rete idrica creata.

#### NUOVO [CTRL+N]

Consente di inizializzare un nuovo progetto. Se è già presente nell'area di disegno una rete idrica, il programma chiede se si desidera salvarla prima di resettare tutte le variabili.

#### APRI [CTRL+O]

Consente di aprire un file di progetto precedentemente salvato. I file di progetto hanno estensione "hti". Se è stato eseguito con successo il calcolo idraulico, il programma caricherà automaticamente i risultati del calcolo. Il percorso del file di progetto aperto verrà riportato nella barra colorata superiore della finestra principale.

#### SALVA [CTRL+S]

Consente di salvare un file di progetto con i dati della rete idrica corrente. Se il calcolo idraulico è stato eseguito con successo, i risultati verranno salvati all'interno dello stesso file di progetto.

#### SALVA CON NOME

Consente di salvare la rete corrente con un nuovo nome. Il percorso della

nuova rete corrente è riportato nella barra colorata superiore della finestra principale.

#### SALVA IMMAGINE BMP

Consente di salvare una istantanea delle rete idrica visualizzata secondo il formato bitmap.

#### DXF – IMPORTA

Consente di importare i nodi e i serbatoi precedentemente salvati in un file DXF. Affinché la procedura di importazione vada a buon fine, è necessario creare due layer nel file DXF, denominati NODI e SERBATOI. Bisogna poi inserire un punto nel rispettivo layer per ciascun nodo o serbatoio che si desidera venga importato in *HydroTool*. Terminata l'importazione, si ritroveranno in *HydroTool* i corrispondenti nodi e serbatoi, ciascuno con le caratteristiche idrauliche di default impostate nella finestra PERSONALIZZA.

#### DXF – ESPORTA

Consente di esportare in formato DXF la rete idrica creata in *HydroTool*. Nel file DXF verranno creati cinque layer per gli oggetti idraulici, nonché un layer aggiuntivo per il testo. I nodi ed i serbatoi verranno esportati come punti nei rispettivi layer NODI e SERBATOI. Le condotte, le pompe e le valvole verranno esportate come linee nei layer CONDOTTE, POMPE e VALVOLE.

#### ESCI

Consente di terminare l'applicazione.

### 5.1.2. Menu STRUMENTI

I comandi del menu STRUMENTI consentono di settare le opzioni e i parametri del programma.

#### 5.1.2.1. PERSONALIZZA

Con il comando PERSONALIZZA viene visualizzata la finestra PERSONALIZZA,

nella quale è possibile personalizzare le caratteristiche idrauliche degli oggetti che costituiscono la rete idrica: nodi, serbatoi, condotte, pompe e valvole.

## NODI

---

### QUOTA

Inserire la quota in metri.

### PORTATA EROGATA

Inserire la portata erogata in litri/secondo. Si tenga presente che una portata positiva corrisponde a una domanda idrica. Viceversa, se la portata è negativa, si intende che essa viene immessa in rete in un determinato nodo.

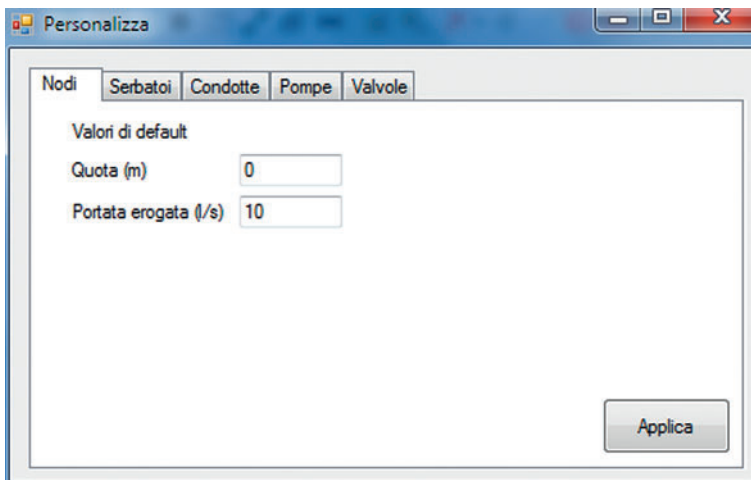


Figura 5.1. Finestra PERSONALIZZA NODI

## SERBATOI

---

### CARICO

Inserire il carico in metri, corrispondente alla quota del pelo libero del serbatoio stesso.

## CONDOTTE

---

### DIAMETRO

Inserire il diametro interno della condotta.

### MATERIALE

Inserire il materiale della condotta.

### SCABREZZA

Inserire la scabrezza della condotta secondo una delle formule che è possibile scegliere per il calcolo delle perdite di carico.

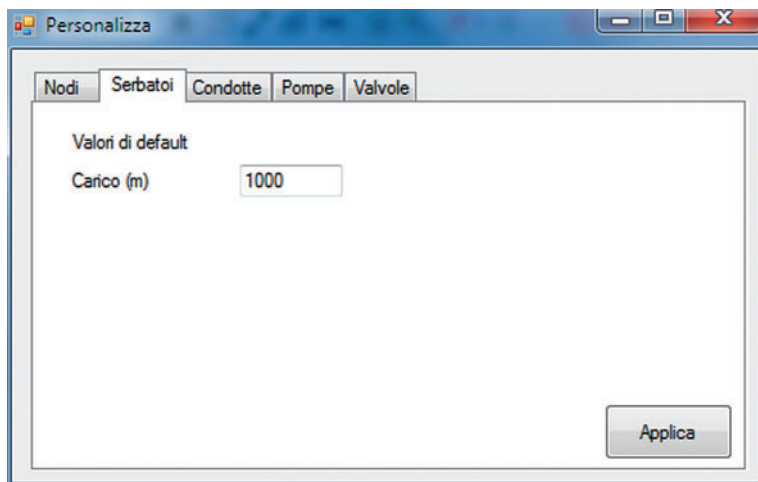


Figura 5.2 Finestra PERSONALIZZA SERBATOI

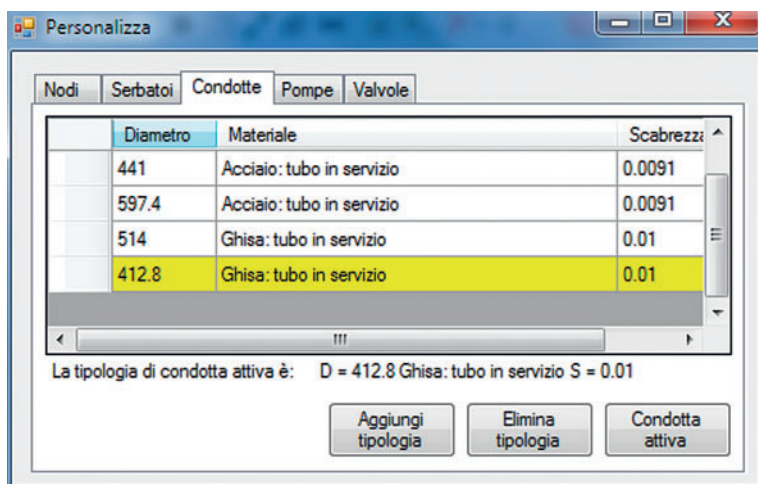


Figura 5.3. Finestra PERSONALIZZA CONDOTTE

Sono inoltre presenti i tre comandi descritti di seguito.

#### AGGIUNGI TIPOLOGIA

Viene visualizzata la finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA CONDOTTA, che consente di creare una nuova tipologia di condotta.

#### ELIMINA TIPOLOGIA

Viene eliminata la tipologia di condotta corrispondente alla riga selezionata. Per selezionare una riga, occorre cliccare sulla freccia corrispondente della colonna posta a sinistra della colonna DIAMETRO. Il programma non consentirà di eliminare una tipologia di condotta se è stata utilizzata per almeno una condotta della rete, visualizzando un messaggio di errore.

**CONDOTTA ATTIVA**

Viene impostata la condotta attiva. Per poter inserire una condotta di una determinata tipologia in rete, è necessario impostarla come CONDOTTA ATTIVA, selezionandone la riga e cliccando sull'apposito comando.

Nella finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA CONDOTTA visualizzata con il comando AGGIUNGI TIPOLOGIA, al fine di agevolare l'utente nell'inserimento della rete idrica, sono stati precaricati una serie di materiali con i relativi valori di scabrezza, che sono ovviamente modificabili in base alle specifiche condizioni della rete di cui si vuole analizzare il comportamento. È inoltre possibile aggiungere delle tipologie di materiali personalizzate, con i relativi valori di diametro e scabrezza.

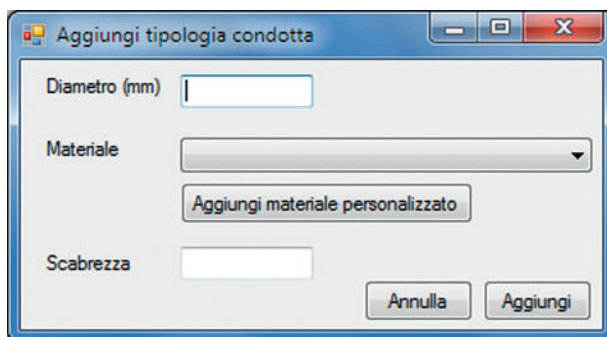


Figura 5.4. Finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA CONDOTTA

**AGGIUNGI MATERIALE PERSONALIZZATO**

Viene visualizzata la finestra INSERIMENTO NUOVO MATERIALE, che consente di inserire la descrizione del materiale della nuova tipologia di condotta che si intende creare.

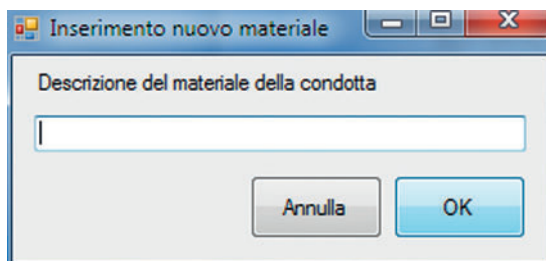


Figura 5.5. Finestra INSERIMENTO NUOVO MATERIALE

**DESCRIZIONE DEL MATERIALE DELLA CONDOTTA**

Inserire la descrizione del materiale.



## POMPE

Per quanto riguarda le pompe, è possibile creare delle nuove tipologie specificandone i tre punti della curva caratteristica ( $Q_i, H_i$ ), dove  $Q_i$  è espresso in litri/secondo e  $H_i$  in metri. Nella finestra sono presenti i tre comandi descritti di seguito.

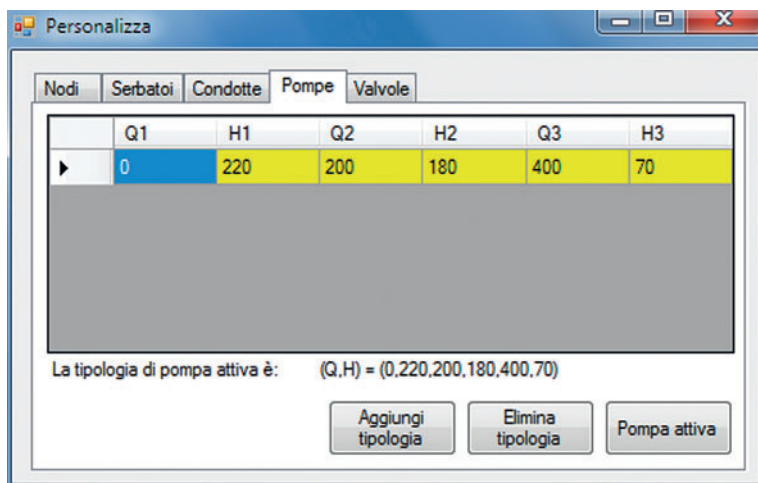


Figura 5.6. Finestra PERSONALIZZA POMPE

### AGGIUNGI TIPOLOGIA

Viene visualizzata la finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA POMPA, che consente di creare una nuova tipologia di pompa. Affinché la curva caratteristica sia valida è necessario che il primo punto corrisponda ad una portata nulla ed al relativo carico corrispondente, cioè sia del tipo ( $Q = 0, H(Q = 0)$ ). Occorre poi assicurarsi che la curva sia decrescente, cioè che sia:

$$0 = Q_1 < Q_2 < Q_3 \text{ e } H_1 > H_2 > H_3 > 0$$

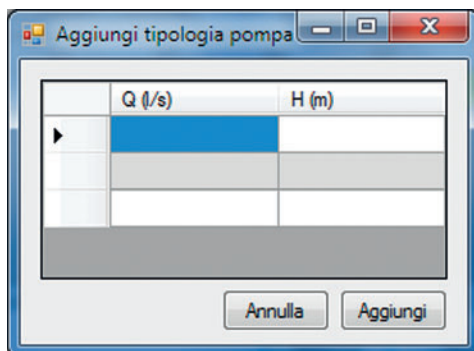


Figura 5.7  
Finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA POMPA

**ELIMINA TIPOLOGIA**

Viene eliminata la tipologia di pompa corrispondente alla riga selezionata. Per selezionare una riga, occorre cliccare sulla freccia corrispondente della colonna posta a sinistra della colonna delle portate Q. Il programma non consentirà di eliminare una tipologia di pompa se è stata utilizzata per almeno una pompa della rete, visualizzando un messaggio di errore.

**POMPA ATTIVA**

Viene impostata la pompa attiva. Per poter inserire una pompa di una determinata tipologia in rete, è necessario impostarla come POMPA ATTIVA, selezionandone la riga e cliccando sull'apposito comando.

**VALVOLE**

Per le valvole, è possibile creare delle nuove tipologie specificandone il diametro interno e il coefficiente di perdita di carico localizzata. Nella finestra sono presenti i tre comandi descritti di seguito.

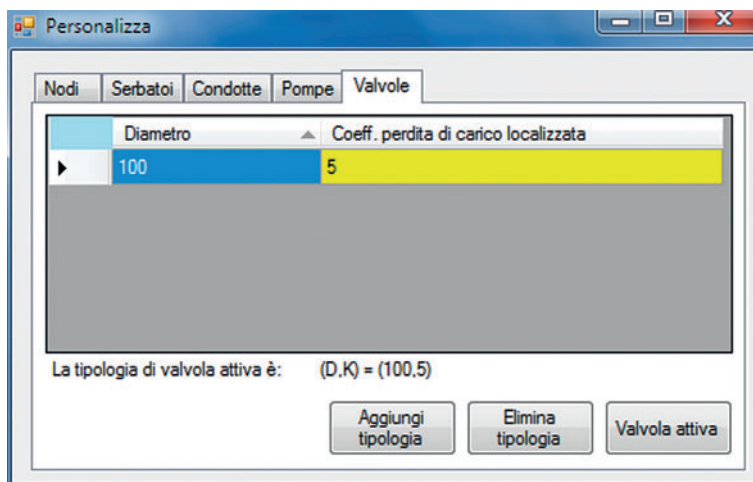


Figura 5.8. Finestra PERSONALIZZA VALVOLE

**AGGIUNGI TIPOLOGIA**

Viene visualizzata la finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA VALVOLE, che consente di creare una nuova tipologia di valvola.

**ELIMINA TIPOLOGIA**

Viene eliminata la tipologia di valvola corrispondente alla riga selezionata. Per selezionare una riga, occorre cliccare sulla freccia corrispondente della colonna posta a sinistra della colonna Diametro. Il programma non consentirà di eliminare una tipologia di valvola se è stata utilizzata per almeno una valvola della rete, visualizzando un messaggio di errore.

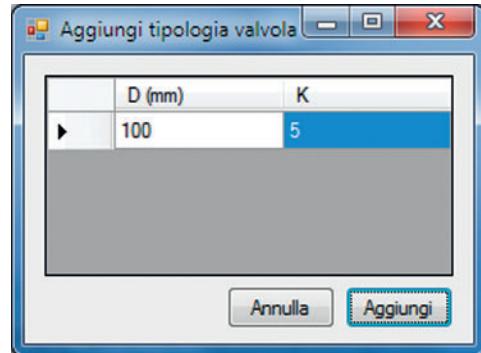


Figura 5.9  
Finestra AGGIUNGI TIPOLOGIA VALVOLA

#### VALVOLA ATTIVA

Viene impostata la valvola attiva. Per poter inserire una valvola di una determinata tipologia in rete, è necessario impostarla come VALVOLA ATTIVA, selezionandone la riga e cliccando sull'apposito comando.

### 5.1.2.2. OPZIONI

Con il comando OPZIONI viene visualizzata la finestra OPZIONI, nella quale è possibile impostare i parametri di disegno, calcolo e verifica della rete idrica.

#### DISEGNO

##### DIMENSIONE NODI/SERBATOI

Inserire la dimensione dei nodi e dei serbatoi al fine di ottenere una rappresentazione grafica ottimale della rete nell'area di disegno.

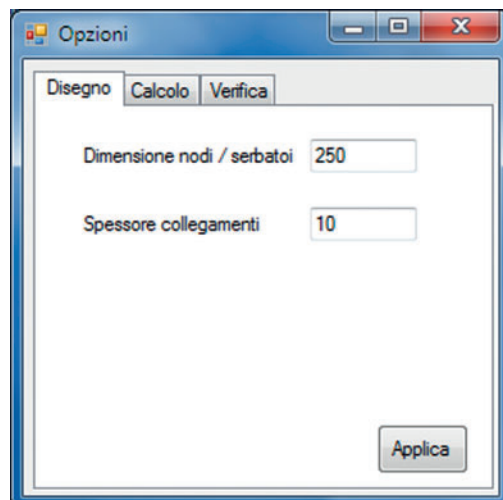


Figura 5.10  
Finestra OPZIONI DISEGNO

#### SPESSORE COLLEGAMENTI

Inserire lo spessore dei collegamenti (condotte, pompe e valvole) al fine di ottenere una rappresentazione grafica ottimale della rete nell'area di disegno.

### CALCOLO

---

#### PERDITE DI CARICO

Inserire la formula per il calcolo delle perdite di carico. È possibile scegliere tra: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach e Chezy-Manning.

#### ACCURATEZZA

Inserire il fattore di accuratezza che controlla il raggiungimento della convergenza dell'algoritmo di calcolo. La convergenza si intende raggiunta quando la somma di tutte le variazioni di portata dalla precedente soluzione divisa per la portata totale circolante in tutti i collegamenti è inferiore al numero impostato. Il valore di default è 0.001.

#### TENTATIVI

Inserire il numero massimo di tentativi per raggiungere la convergenza. Il valore di default è 40.

#### VERIFICA

Per i parametri di verifica, è possibile impostare i limiti sulle velocità dell'acqua nelle condotte e sulle pressioni ai nodi. Il rispetto di tali limiti sarà poi verificato a valle del calcolo idraulico.

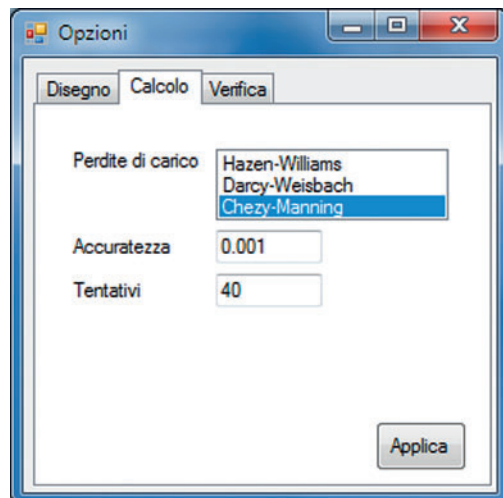


Figura 5.11  
Finestra OPZIONI CALCOLO

#### VELOCITÀ MINIMA

Inserire la velocità minima dell'acqua in metri/secondo che si desidera avere in rete. Il valore di default è 0.5 m/s.

**VELOCITÀ MASSIMA**

Inserire la velocità massima dell'acqua in metri/secondo che si desidera avere in rete.  
Il valore di default è 2 m/s.

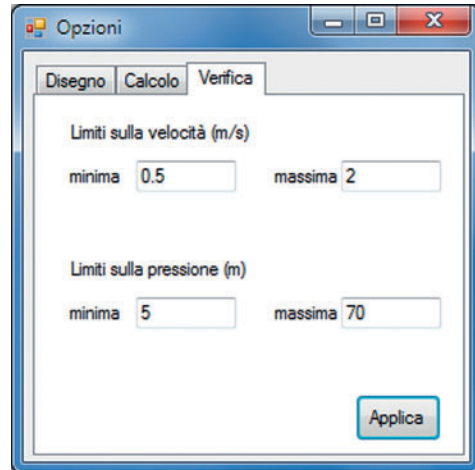


Figura 5.12  
Finestra OPZIONI VERIFICA

**PRESSIONE MINIMA**

Inserire la pressione minima in metri che si desidera avere nei nodi eroganti della rete.  
Il valore di default è 5 m.

**PRESSIONE MASSIMA**

Inserire la pressione massima in metri che si desidera avere nei nodi eroganti della rete. Il valore di default è 70 m.

### 5.1.3. Menu INSERISCI

I comandi del menu INSERISCI consentono di immettere nell'area di disegno gli elementi della rete idrica che si desidera introdurre: nodi, serbatoi, condotte, pompe e valvole. Inoltre, è possibile inserire un'immagine di sfondo, di cui è possibile variare le dimensioni, che faciliti l'inserimento delle rete idrica.

### NODO

Consente l'inserimento di nodi eroganti. Dopo aver cliccato sull'area di disegno, viene visualizzata la finestra AGGIUNGI NODO, nella quale è possibile specificare le coordinate del nodo ( $x,y,z$ ) in metri e la portata erogata  $q$  in litri/secondo.

Al fine di mantenere la congruenza tra le tipologie di valvole presenti in rete e quelle definite dall'utente nella finestra PERSONALIZZA VALVOLE, non è possibile cambiare arbitrariamente il coefficiente di perdita di carico localizzata e il diametro. Per cambiare tipologia di valvola, è necessario cliccare sull'apposito comando CAMBIA TIPOLOGIA.

#### CAMBIA TIPOLOGIA

Viene visualizzata la finestra CAMBIA TIPO DI VALVOLA, dove è possibile selezionare la nuova tipologia di valvola che si desidera assegnare al tratto selezionato.

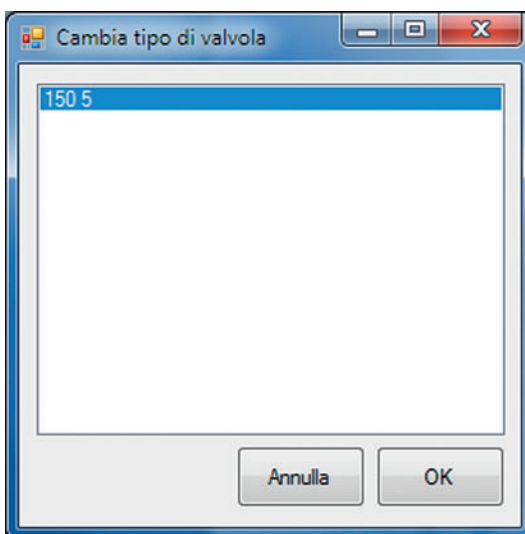


Figura 5.23  
Finestra CAMBIA TIPO DI VALVOLA

#### MOSTRA ID

Consente di visualizzare alcune informazioni che permettono di identificare facilmente ciascun elemento della rete idrica. In particolare, verranno visualizzati in corrispondenza di ciascun elemento:

- l'ID di ciascun nodo, preceduto dalla lettera N;
- l'ID di ciascun serbatoio, preceduto dalla lettera S;
- l'ID di ciascuna condotta, preceduto dalla lettera C, e il diametro della condotta stessa;
- l'ID di ciascuna pompa, preceduto dalla lettera P;
- l'ID di ciascuna valvola, preceduto dalla lettera V.

Si ricorda che gli elementi vengono numerati a partire dal numero zero. A titolo di esempio si veda la figura 5.24.

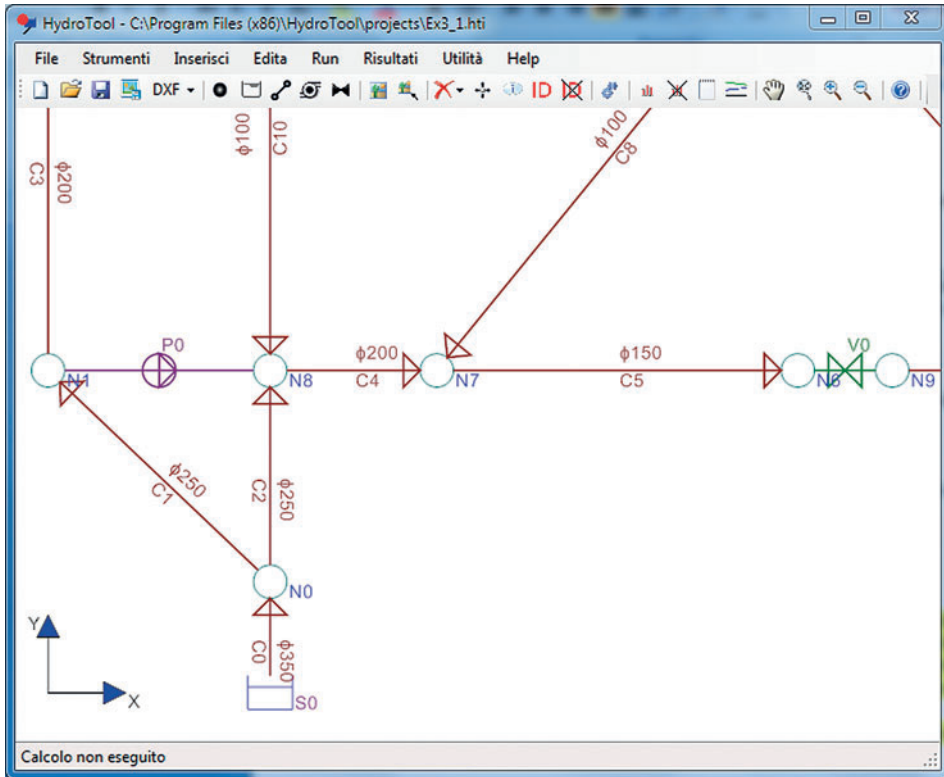


Figura 5.24. ESEMPIO DI NUMERAZIONE

## NASCONDI ID

Visualizza la rete senza le informazioni identificative di ciascun elemento.

### 5.1.5. Menu RUN

Il comando del menu RUN consente di lanciare il calcolo idraulico.

## RUN

Lancia il calcolo idraulico.

Prima di effettuare il calcolo, il programma esegue alcuni controlli sulla topologia della rete inserita e non lo avvia se vengono rilevati degli errori, mostrando degli opportuni avvisi.

In particolare, viene verificato preliminarmente che:

- sia stata imputata una rete valida. Una rete è valida se contiene almeno un nodo e un serbatoio, opportunamente collegati;
- non vi siano dei nodi o dei serbatoi scollegati;
- non vi siano nodi o serbatoi coincidenti.

In figura 5.25 è riportato un esempio di rete non valida, con il conseguente avviso emesso dal programma quando si tenta di lanciare il calcolo.

In figura 5.26 è riportata una rete in cui un nodo è scollegato, mentre in figura 5.27 è riportata una rete con due nodi coincidenti. Anche in questo caso il programma emetterà i relativi avvisi quando si tenta di lanciare il calcolo.

Se il calcolo va a buon fine, viene visualizzata la finestra CALCOLO ESEGUITO CORRETTAMENTE.

A valle del calcolo, il programma verifica che non siano stati ecceduti i limiti sulle pressioni e sulle velocità impostati nella finestra OPZIONI – VERIFICA. In caso positivo, verranno visualizzati dei messaggi che avvisano di tale evenienza.

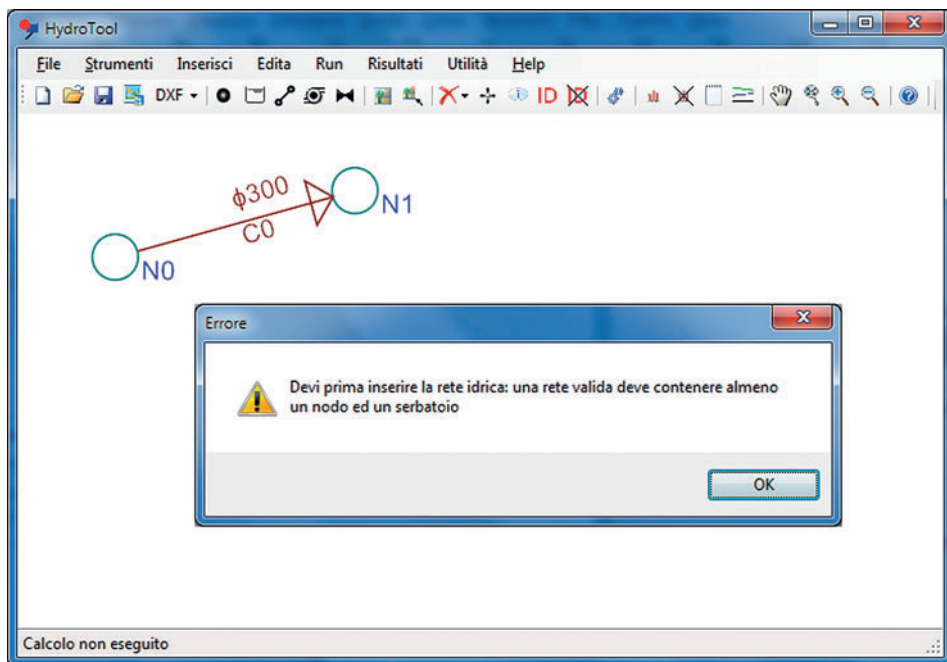


Figura 5.25. ESEMPIO DI RETE NON VALIDA



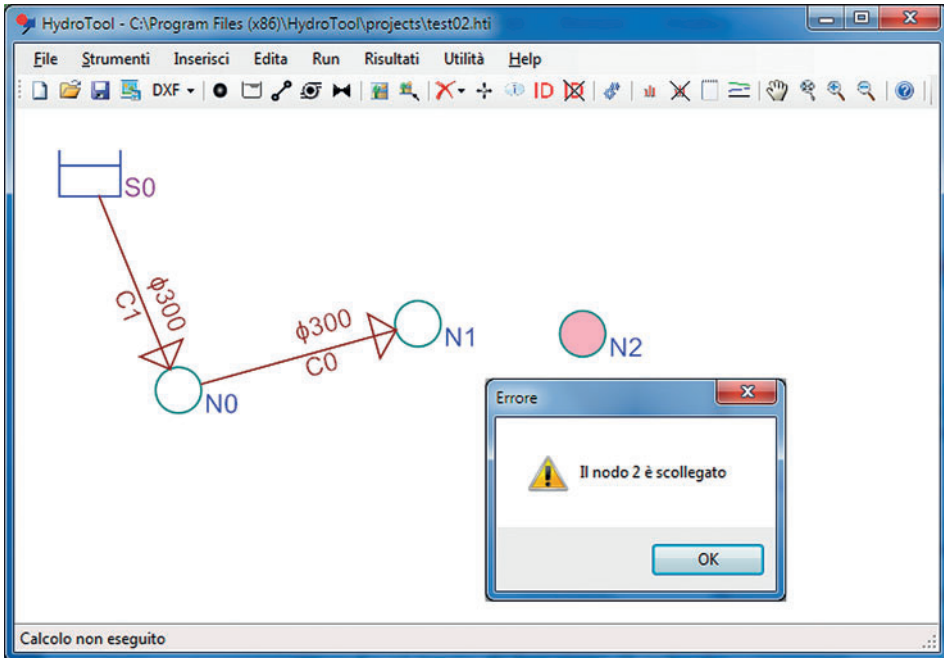


Figura 5.26. RETE CON NODO SCOLLEGATO

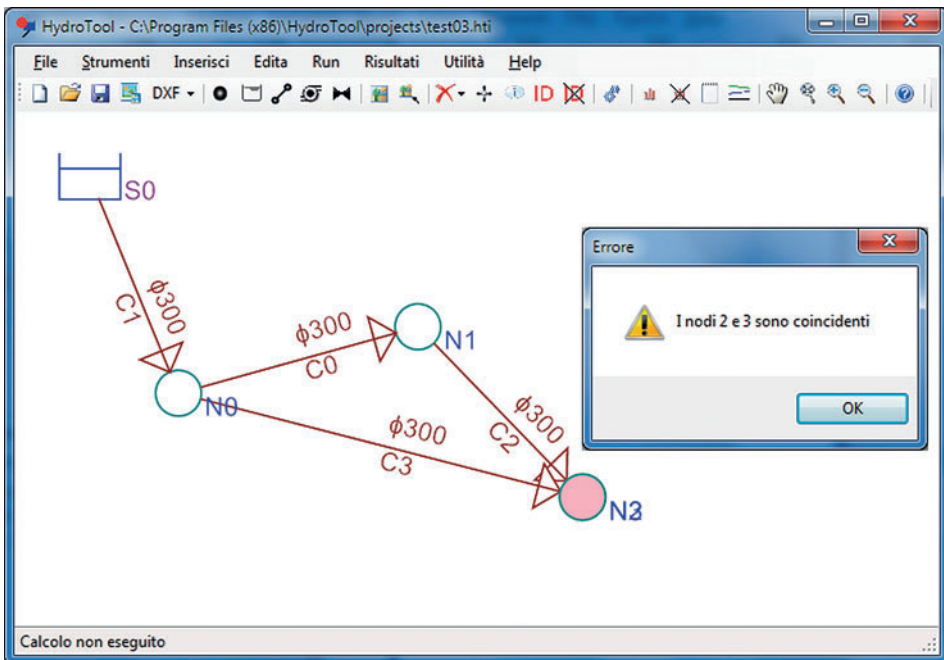


Figura 5.27. RETE CON NODI COINCIDENTI

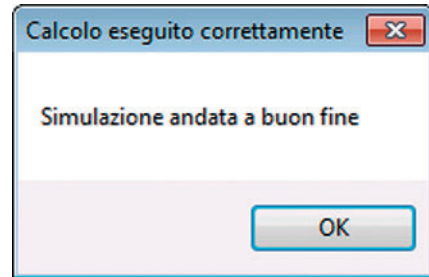


Figura 5.28  
Finestra CALCOLO ESEGUITO  
CORRETTAMENTE

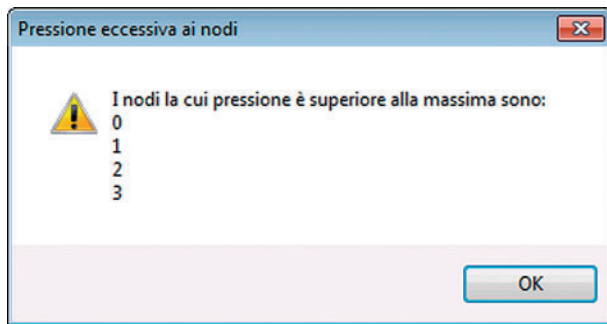


Figura 5.29  
Finestra PRESSIONE ECCESSIVA AI NODI

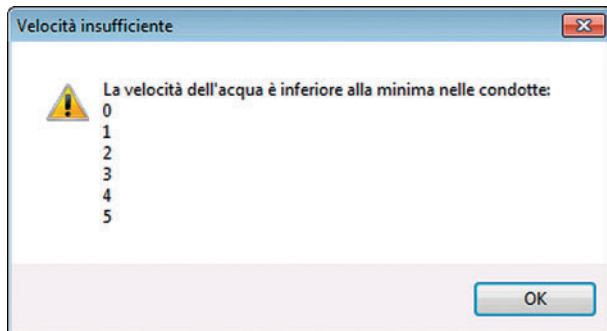


Figura 5.30  
Finestra VELOCITÀ INSUFFICIENTE

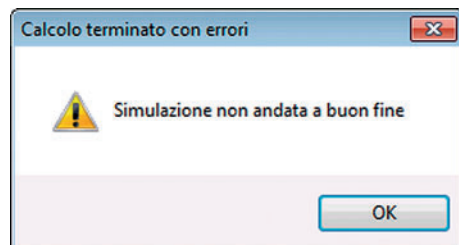


Figura 5.31  
Finestra CALCOLO TERMINATO CON ERRORI

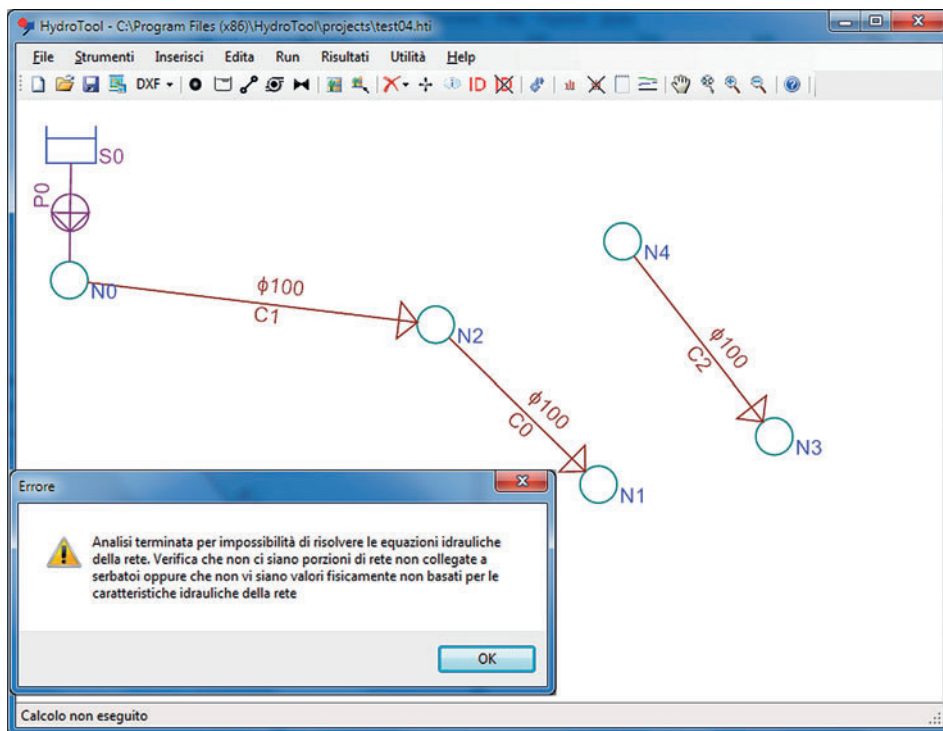


Figura 5.32. RETE CON PORZIONI SCOLLEGATE

Se il calcolo idraulico non dovesse andare a buon fine, il programma visualizzerà la finestra CALCOLO TERMINATO CON ERRORI, seguita dagli opportuni messaggi di errore.

In particolare, possono verificarsi i seguenti errori:

- si verificano delle pressioni negative;
- il calcolo termina a causa di memoria insufficiente;
- il calcolo termina per impossibilità di risolvere le equazioni idrauliche della rete (si veda la figura 5.32).

In tal caso, il programma suggerisce di verificare che non vi siano porzioni di rete non collegate a serbatoi oppure che non vi siano valori fisicamente non basati per le caratteristiche idrauliche della rete:

- vengono riscontrati uno o più errori nei dati di input;
- una pompa è stata chiusa perché eccede la massima portata;
- una pompa è stata chiusa perché non può fornire il carico richiesto.

### 5.1.6. Menu RISULTATI

I comandi del menu RISULTATI consentono di visualizzare i risultati del calcolo idraulico, salvarli sotto forma di report e di generare i profili idraulici.

#### MOSTRA

Consente di visualizzare i principali risultati del calcolo idraulico eseguito in corrispondenza di ciascun elemento costituente la rete idrica.

#### NASCONDI

Consente di visualizzare le rete idrica senza i risultati del calcolo.

#### REPORT

Consente, qualora sia stato effettuato con successo il calcolo idraulico, di visualizzare e salvare un report del calcolo in formato RTF. Tale formato consente di aprire il report generato con un qualsiasi programma di video scrittura, anche open source.

In figura 5.33 è riportato un esempio di visualizzazione dei risultati ottenuti dal calcolo idraulico in corrispondenza di ciascun elemento della rete idrica.

Nelle figure 5.34 e 5.35 è riportato un report di calcolo con visualizzazione dei dati di input e dei risultati.

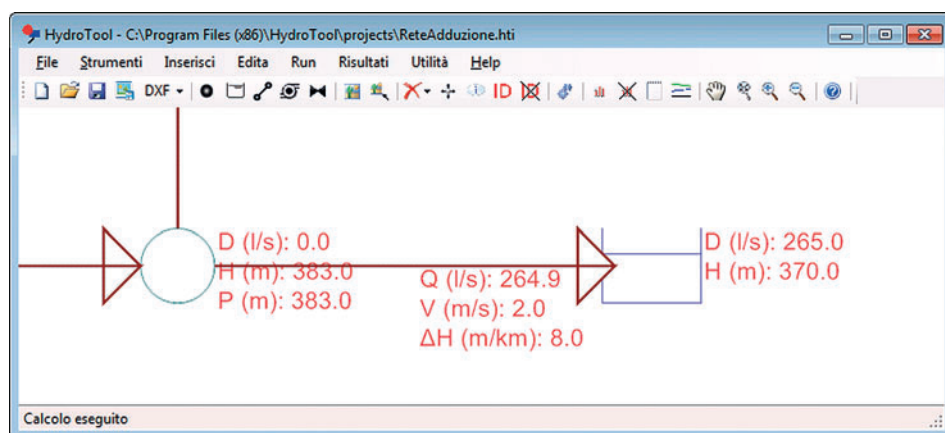


Figura 5.33. ESEMPIO DI VISUALIZZAZIONE DEI RISULTATI