

SOFTWARE PER LA SIMULAZIONE

(linguaggi e pacchetti)

Linguaggi di simulazione (sviluppati a partire dagli anni '70)

- sono non procedurali (non imperativi) = la sequenza delle istruzioni non è determinante;
- includono gli algoritmi di discretizzazione;
- includono routine per la generazione di funzioni d'ingresso;
- includono routine per la rappresentazione grafica dei risultati (animazione)
- includono routine di statistica per la valutazione dei risultati;
- possono avere una diagnostica basata sulla semantica e non solo sulla sintassi.

Di solito sono dei preprocessori di linguaggi di tipo generale (Fortran, C) e quindi generano un codice intermedio.

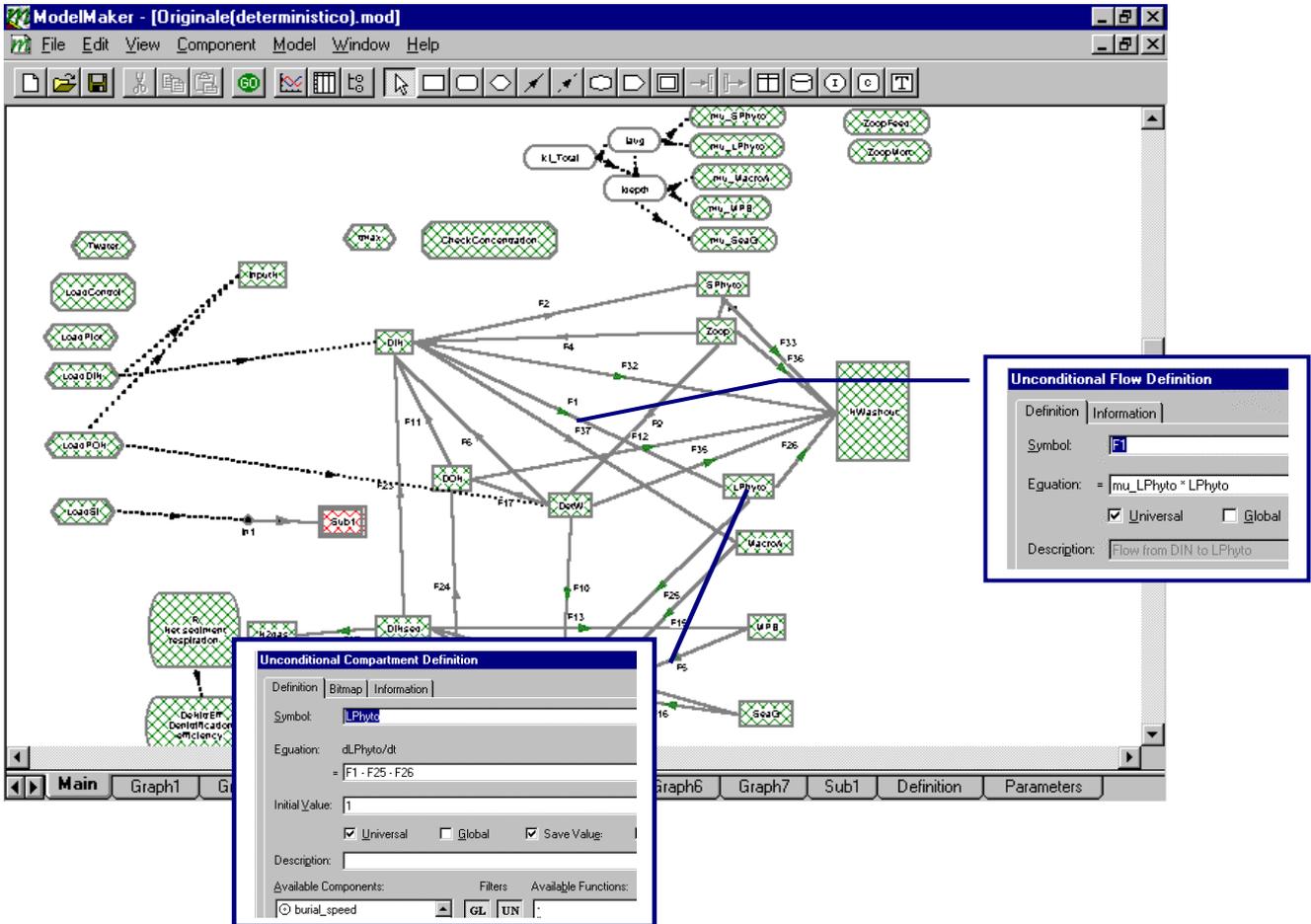
Numerosissimi pacchetti disponibili sul mercato. Esempi:

- Simulink (estensione di MATLAB) orientato al calcolo degli schemi a blocchi.
- VisSim anch'esso orientato agli schemi a blocchi (+di 100 blocchi diversi), con possibilità di crearne in C o Fortran. Include diversi schemi di integrazione e ottimizzazione.
- PPLANE un semplice pacchetto in Java (gira all'interno di un browser) per l'analisi e la simulazione di sistemi del II ordine.
- Extend è un ambiente di simulazione che include un proprio linguaggio (ModL) simile al C. Può simulare modelli continui, a eventi e ibridi e costruire gerarchie e librerie di componenti.
- SCILAB sviluppato in Francia (INRIA), molto simile a MATLAB, ma specificamente orientato ai problemi di controllo. E' gratuito.
- STELLA e Ithink, riprendono la schematizzazione usata in Dynamo.

La scelta di un pacchetto di simulazione può essere basata su:

- flessibilità (adattabilità a diversi tipi di modelli)
- costo (ne esistono di disponibili gratuitamente su Internet)
- specializzazione (dedicati ad applicazioni particolari)
- disponibilità di modelli/componenti standard
- possibilità di scrittura/inserimento di programmi
- interfaccia (dai grafici alle animazioni)
- portabilità
- ...

Esempio di package: ModelMaker



Modelmaker è un pacchetto molto generale per la modellistica e la simulazione.

La logica è quella del tracciamento di uno schema a blocchi in cui ciascuna variabile (ingresso, stato, uscita) è rappresentata da un blocco (di forma diversa). Esistono poi dei collegamenti tra i blocchi, che, contrariamente alla logica di altri pacchetti come Simulink, nei quali i collegamenti trasferiscono solo l'informazione, qui hanno la possibilità di elaborare l'informazione che scambiano.

Ogni variabile di stato (rappresentata da un blocco rettangolare) è definita da un'equazione di bilancio in cui la derivata della variabile (già scritta dal programma) deve essere uguale alla somma algebrica di quello che entra e quello che esce.

Tutte le caratteristiche strutturali e numeriche sono fornite compilando dei formulari (template) che prevedono tutte le opzioni consentite.

Lo schema in figura rappresenta il modello di un estuario in cui il problema più rilevante è l'eutrofizzazione, cioè la crescita rapida e massiccia di alghe che determina l'impossibilità alla luce di penetrare l'acqua, quindi riduce la sintesi clorofilliana negli strati inferiori e in ultima analisi provoca un grave deficit di ossigeno nelle acque e quindi un degrado della loro qualità. Il fenomeno è generato da un eccesso di scarichi industriali e agricoli (dilavamento dei concimi chimici).

Si possono fare simulazioni, tracciare grafici e traiettorie, fare analisi di sensitività, tarare i parametri, ecc.

PROGRAMMI SPECIALIZZATI:

QUALITA' DELL'ARIA

E' un settore ricco e articolato (lunga tradizione, molti problemi da affrontare) .

Esistono modelli:

"a grande scala" - nazioni e continenti;

"a scala di bacino" - provincie, bacini idrografici

"a microscala" - siti specifici come impianti industriali.

I più studiati sono quelli alle scale intermedie. Molti modelli sono stati sviluppati dall'U.S.EPA (Environmental Protection Agency) e sono distribuiti gratuitamente (National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce; Center for Exposure Assessment Modeling, U.S. EPA).

I modelli si distinguono per la loro capacità di trattare:

- . condizioni stazionarie o evolutive;
- . condizioni meteorologiche particolari (es. calme di vento, fumigazione costiera, ecc.);
- . sorgenti industriali, da traffico, diffuse;
- . terreno pianeggiante, ondulato, complesso; inquinanti inerti o reattivi;
- . scenari di breve o lungo periodo.

- *Modelli gaussiani*. Sono soluzioni analitiche ricavate sotto ipotesi di stazionarietà, allineano l'asse del pennacchio di una sorgente con la direzione del vento e valutano empiricamente il sovrainnalzamento. Correzioni per inversioni in quota, presenza edifici, sorgenti lineari e areali (distribuite), ecc.

Sono semplici da usare e adatti alla simulazione di inquinanti non reattivi, in terreno pianeggiante, su distanze fino ad alcune decine di chilometri e tempi dell'ordine di poche ore. Esempi: APC3, BLP, CDM, CRSTER, DIMULA, **ISC**, **AERMOD**, MPTER, PAL e TUPOS.

- *Modelli gaussiani "estesi"*. Adattano i precedenti a condizioni di terreno non pianeggiante (complesso) mediante correzioni all'asse del pennacchio che tengano conto del livello del suolo (esempi: COMPLEX, OCD, RTDM e VALLEY) o alle emissioni del traffico urbano come incroci e gallerie (esempi: **APRAC 3**, **CALINE**, HIWAY e PEM).

- *Modelli ibridi*. Struttura di tipo gaussiano con termine verticale non gaussiano, per tenere conto di informazioni sui bassi strati dell'atmosfera (necessari strumenti di remote sensing). Esempi: ADMS, HPDM e KAPPAG.

□ *Modelli a puff.* Possono trattare situazioni con meteorologia non omogenea e non stazionaria; la diffusione turbolenta viene simulata mediante l'allargamento orizzontale e verticale di ogni puff mediante formule empiriche (funzioni della stabilità atmosferica e del tempo di volo). Le concentrazioni vengono calcolate mediante sovrapposizione dei contributi dei singoli puff. Si possono simulare trasformazioni e i fenomeni di rimozione e distanze maggiori ai gaussiani. E' necessaria la conoscenza del campo di vento.

Esempi: **CALPUFF**, INPUFF, MESOPUFF e SAFE_AIR.

□ *Modelli a particelle.* Trattano condizioni non omogenee, terreno complesso, sorgenti di geometria qualsiasi. E' necessaria la conoscenza del campo di vento. Elevato costo computazionale legato alla necessità di rappresentare ogni sorgente con un numero adeguato di particelle. Esempi: LADM e **SPRAY**.

□ *Modelli a griglia.* Si basano sull'integrazione numerica dell'equazione di trasporto e diffusione in un dominio bi- o tridimensionale, discretizzato su un grigliato a spaziatura fissa o variabile, necessitano quindi di condizioni iniziali e al contorno. Esempi: **CALGRID** e UAM.

ACQUE SOTTERRANEE

Settore anch'esso ricco per la lunga tradizione: forse un migliaio di programmi disponibili (vedi ad es. Scientific Software Group, P.O. Box 23041, Washington DC, 20026-3041 (www.scisoftware.com)).

Due classi principali:

- modelli per la simulazione del flusso negli acquiferi;
- modelli per lo studio del trasporto, della dispersione e della trasformazione di sostanze inquinanti nei mezzi porosi.

Modelli del flusso

Sono mono- bi- o tri-dimensionali. I modelli bidimensionali sono i più diffusi poiché rappresentano aree estese in cui le dimensioni orizzontali sono molto maggiori dello spessore dell'acquifero. A volte sono usati come strati in modelli 3-D.

Esistono modelli specifici per acquifero *freatico* (a superficie libera) o *confinato* (limitato sia superiormente che inferiormente da strati impermeabili), oppure *acquitardo* (limitato cioè da strati semipermeabili). Se è freatico, esiste al di sopra una zona insatura (per cui esistono altri modelli).

Modelli di qualità

Possono essere utilizzati in cascata ai precedenti (le proprietà dell'acqua sono supposte costanti) o congiuntamente (se l'inquinamento influenza il flusso). Gli inquinanti vengono di solito considerati conservativi o con decadimento di tipo esponenziale. Talvolta, il modello contiene al suo interno le equazioni chimiche, ma spesso manca una conoscenza sufficientemente approfondita dei fenomeni o i dati necessari.

I dati necessari sono (costanti solo su aree limitate):

- permeabilità
- spessore (confinato) / quota base (freatico)
- coefficiente di immagazzinamento
- porosità efficace (freatico)
- coefficienti di dispersione idrodinamica
- costanti di reazione chimica.

Servono inoltre le condizioni iniziali e quelle al contorno (carico assegnato o flusso assegnato).

Un uso interessante dei modelli è il calcolo delle linee isocrone (posizioni raggiunte da un'onda di inquinante a tempi assegnati).

- *Modelli analitici.* Soltanto per casi semplici (particolari condizioni al contorno, geometria semplice, omogeneità e di isotropia) (esempi: GMT, GWPAM, MINTEQA2 (speciazione chimica)).
- *Modelli alle differenze finite.* Semplici concettualmente e numericamente, ma necessitano di griglie regolari inadatte a descrivere domini poco omogenei (esempi: ASM, FLOWPATH, MOC, **MODFLOW**, MT3D).
- *Modelli agli elementi finiti.* Possono operare con griglie irregolari, ma richiede più conti (esempi: FEMSEEP, SUTRA).
- *Modelli a particelle (random walk).* Utili dove predomina il trasporto convettivo, richiede la soluzione del problema di flusso;
- *Modelli per applicazioni specifiche,* quali spillamento di idrocarburi (esempi: SPILLCAD, BIOTRANS ARMOS); intrusione salina, subsidenza.

ACQUE SUPERFICIALI

Settore molto ampio e con lunghissima tradizione (prime applicazioni su calcolatore in campo ambientale), molti programmi integrano problemi diversi (quantità, qualità). Alcuni sviluppati a scopo gestionale (IRIS, RIBASIM).

Ambiti territoriali:

- ◆ *bacino idrografico* (afflussi liquidi e solidi e formazione dei deflussi; analisi di eventi estremi; alluvioni; siccità; arretramento dei ghiacciai; erosione dei versanti);
- ◆ *alveo fluviale* (piene; magre; erosione delle sponde ed abbassamento dell'alveo; modifica degli alvei e meandri; inquinamento) ;
- ◆ *lago* (ricambio e stratificazione delle acque; circolazione superficiale; eventi idrologici estremi e esondazioni; carichi inquinanti puntuali e diffusi; eutrofizzazione);
- ◆ *fascia costiera* (circolazione e stratificazione delle masse d'acqua; maree e acque alte; intrusione salina; erosione delle spiagge; subsidenza; inquinamento delle acque marine e dei fondali).

Modelli idrologici

- *Modelli input-output.* ARMA e derivati (esempi: ASTWIN, MISTERE).
- *Modelli integrali.* Canale lineare, serbatoi in cascata, modello di Nash, modello di Clark, risposta all'impulso (detto idrogramma unitario istantaneo o IUH-Instantaneous Unit Hydrograph). Sono modelli lineari semplificati che simulano il solo scorrimento superficiale. Sono semplici e richiedono limitate risorse di calcolo. Esempi: serie HEC, FLEA, MIKE 11-UHM, ISIS.
- *Modelli concettuali a parametri concentrati.* Operano a livello dell'intero bacino con una descrizione dettagliata, ma concentrata dei fenomeni. Necessitano di un'analisi delle principali caratteristiche morfometriche, idrologiche e di uso del suolo e di dati idrometeorologici per la taratura.
Esempi: MIKE 11-NAM, MIKE 11-FF, IDRO-2, WADIM_RT, HYRRROM, EFFORTS.
- *Modelli concettuali a parametri distribuiti.* Descrivono i fenomeni mediante discretizzazione spaziale. Le equazioni differenziali sono risolte numericamente.
Esempi: DELWAQ, MIKE SHE, SALMON-F.

Modelli idraulici

- *Modelli di propagazione delle piene.* Derivano dai lavori del secolo scorso (de Saint Vénant, Boussinesq). Quasi sempre monodimensionali con ipotesi aggiuntive quali: curvatura delle traiettorie e accelerazioni verticali trascurabili, piccola pendenza media dell'alveo, alveo rigido, densità costante. Possono simulare la presenza di strutture (dighe, chiuse manuali ed automatiche, sifoni, stazioni di pompaggio, ponti, cascate, canali coperti, ecc.). Usano metodi alle differenze finite, metodi delle caratteristiche, metodi agli elementi finiti.

Esempi: CARIMA, WAFLO.

Modelli di qualità

- *Biochimici.* Monodimensionali, assumono come ingressi la situazione idraulica e termica e considerano due variabili di stato: concentrazione di BOD e concentrazione di DO. Possono inoltre simulare la dispersione di metalli pesanti. Esempi: CONDOR, WODA, WASP.
- *Ecologici.* Anche bi- o tri-dimensionali (per i laghi), considerano altre componenti della catena trofica (batteri, fitoplancton, pesci). Esempi: **QUAL2E**, WQRRS, DELWAQ, HSPF.

ECOSISTEMI

Settore recente e molto variegato (analisi demografica, interazioni fra popolazioni, sfruttamento di popolazioni animali e vegetali, rischio di estinzione di popolazioni naturali, indicatori di biodiversità e di vocazionalità del territorio, ecotossicologia, bioindicatori) + caratteristiche peculiari di ogni ecosistema = difficile classificazione, pochi modelli assestati.

- *Modelli per l'analisi demografica* di popolazioni con struttura di taglia o di età. Studiano i parametri demografici di una specie (fertilità, sopravvivenza, ecc.) e ne simulano l'evoluzione incluso un eventuale prelievo (Esempi: RAMAS/ AGE, RAMAS/ST AGE, APRI, GPM, WILDLIFE per specie animali, ST AND-DAMAGE MODEL per un bosco).
- *Modelli per lo studio della qualità e della dinamica di comunità acquatiche*. Sono quelli tipici dei problemi di eutrofizzazione. Si considera una catena trofica e se ne simula il comportamento (esempio: CLEANER, LAKEMAKER) o se ne valuta lo stato complessivo (esempio: EASYEBI).

- *Modelli ecotossicologici.* Simulano la distribuzione e l'accumulo di molecole sintetiche in organismi viventi (spec. acquatici). Considerano vari processi chimico-fisici (volatilizzazione, fotolisi, adsorbimento, decadimento, idrolisi, ossidoriduzione). Vanno dall'analisi della singola specie o parte del corpo a studi molto generali per simulare la maggior parte dei fenomeni di contaminazione di interesse pratico. Necessitano di molti parametri chimici e biologici. Stanno cominciando a trattare la dispersione in più comparti dell'ambiente. Esempi: BIOCON, FGET, EXAMS, TOXFATE, RISKPRO.

- *Modelli del rischio di estinzione* di popolazioni frammentate. Studiano gli indici di "vocazionalità del territorio" (basati su morfologia, climatologia, copertura vegetale, ecc.) per individuare posizione e estensione delle aree che ospitano, o possono ospitare, una specie. Richiedono l'uso di un GIS (Geographical Information System). Simulano l'andamento di una (meta)popolazione suddivisa in più zone con possibilità di migrazioni, per valutarne il rischio di estinzione. Utilizzano metodi tipo Montecarlo.
Esempi: ALEX, RAMAS/SPACE, RAMAS/GIS, VORTEX.

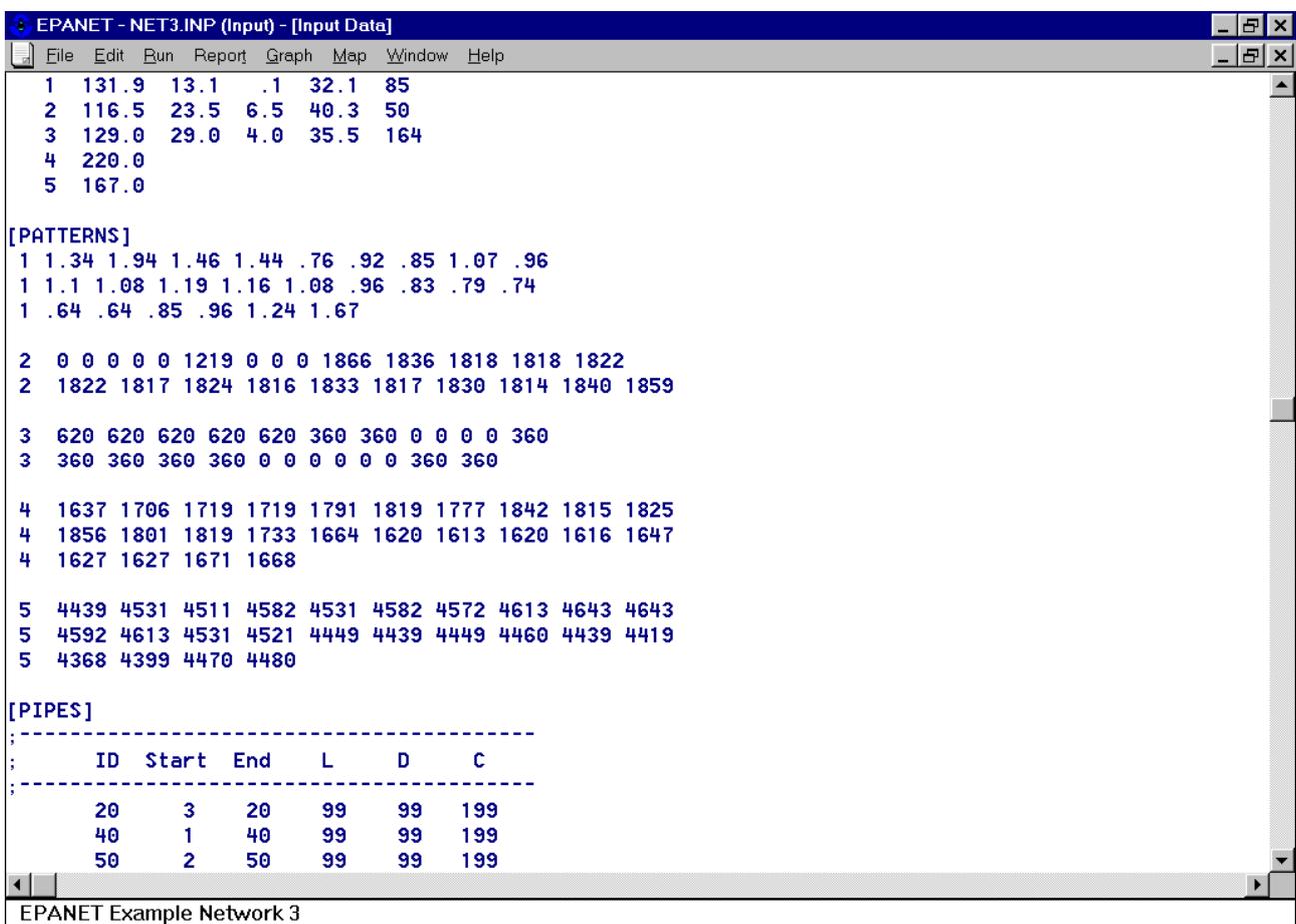
HYDRO CD - www.dodson-hydro.com

ANNIE: A Computer Program for Interactive Hydrologic Data Management
BRANCH: Branch-Network Dynamic Flow Model
BSDMS: Bridge Scour Data Management System
CAP: Culvert Analysis Program
CGAP: Channel Geometry Analysis Program
COED: Corps of Engineers Editor - (Book Only)
DAMBRK: A Dam-Break Flood Forecasting Model (includes SMPDBK, BREACH, DWOPER)
DAMP: Highway Sub-Drainage Design
DAMS2: Project Formulation - Structure Site Analysis
DR3M:Distributed Routing Rainfall-Runoff
DR3M:Distributed Routing Rainfall-Runoff
EPANET: Water Distribution System Analysis
FESWMS-2DH: Finite Element Surface-Water Modeling System, 2-D Flow
FLDWY (TR-64): Floodway Determination Computer Program
GLSNET:Hydrologic Regression and Network Analysis Using Generalized Least Square
GVPROF: Open Channel Calculator-Trapezoidal Channels for Windows
HEC-1: Watershed Analysis and Detention Design
HEC-1U: Urban Version (not provided with Hydro-CD)
HEC-2 Utilities: Eng2Met and SuperC (not provided with Hydro-CD)
HEC-2: Flood Plain Analysis
HEC-5: Simulation of Flood Control and Conservation
HEC-5Q: Appendix on Water Quality Analysis
HEC-6: Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs
HEC-DSS: Data Storage System & GSS (Graphics Software Systems) Drivers
HEC-FDA: Flood Damage Analysis
HEC-FFA: Flood Frequency Analysis
HEC-IFH: Interior Flood Hydrology
HEC-RAS Version 2.1 : River Analysis System (Windows '95 and NT Only)
HMR52: Probable Maximum Storm Computation (Eastern US) includes PMP HMR51&52
HSPEXP: E-xpert System for Calibration of the HSPF program
HSPF: Hydrologic Simulation Program - FORTRAN
HY-7 WSPRO: Water-Surface Profile Computational Model (also part of HYDRAIN)
HY-8: Hydraulic Design of Highway Culverts (book only, software part of HYDRAIN)
HY-9: Scour at Bridges (based on Hydraulic Engineering Cir. No. 18 & 20 by FHWA)
HYDRAIN: HYDRA, WSPRO (HY-7), HYDRO, HY-8, HYCHL, HYEQT, NFF and HYEDT
HYDROCALC Hydraulics for Windows : Channel & Culvert Analysis/Design
HYDROCALC Hydrology: Runoff computation/detention basin design
IOWDM: Input and Output for a Watershed Data Management
LIBUTL: Utility libraries for simulation models
MEASERR: Determination of error in individual discharge measurements
MODBRNCH: Ground-Water/Surface-Water Coupled Flow Model
NCALC: Manning's N Value Calculation Program
NFF: National Flood Frequency Program (also part of HYDRAIN)
PAS: Preliminary Analysis System for Water Surface Profile Computations
PEAKFQ: Flood-Frequency Analysis Based on Bulletin 17B
PRMS: Precipitation-Runoff Modeling System
ProED: Dodson's Professional Editor
ProHEC1: Dodson's professional HEC-1 package (not included with Hydro-CD)
ProHEC2: Dodson's professional HEC-2 package (not included with Hydro-CD)
ProStorm: Dodson's Professional Storm System
QUAL2E: Enhanced Stream Water Quality Models
QUICK-2: Managing Floodplain Development in Zone A Areas
RAINGAGE: Rainfall Data Conversion
SAC: Slope-Area Computation Program
SEDSIZE: Particle-size Statistics of Fluvial Sediments
SMADA: Stormwater Mangement and Design Aid
SWITCH: WSPRO<>HEC-2 Conversion
SWMM: Storm Water Management Model
SWRRBWQ: Simulator for Water Resources in Rural Basin-Water Quality
SWSTAT: Surface-Water Statistics
TDDS: Time-Dependent Data System for Simulation Models
TR-20: Compter Program for Project Formulation Hydrology
TR-55: Urban Hydrology for Small Watersheds
UNET: One Dimensional Unsteady Flow through a Full Network of Open-Channels
WINSTORM: Storm Drain Design Computer Program
WQRRS: Water Quality for River-Reservoir Systems
WSP2: Computer Program for Water Surface Profices
XSPRO: A Channel Cross-Section Analyser

UN ESEMPIO: il programma EPANET

Simulazione del flusso e della qualità di un sistema di condotte in pressione, sviluppato dall'Environmental Protection Agency degli USA. Disponibile gratuitamente con manuale (scaricabile da www.epa.gov)

Si definisce la struttura del sistema (lunghezze, diametri, quote delle condotte; quote e portate delle sorgenti; condizioni delle strutture di controllo: serbatoi, valvole,...)



```
EPANET - NET3.INP (Input) - [Input Data]
File Edit Run Report Graph Map Window Help

1 131.9 13.1 .1 32.1 85
2 116.5 23.5 6.5 40.3 50
3 129.0 29.0 4.0 35.5 164
4 220.0
5 167.0

[PATTERNS]
1 1.34 1.94 1.46 1.44 .76 .92 .85 1.07 .96
1 1.1 1.08 1.19 1.16 1.08 .96 .83 .79 .74
1 .64 .64 .85 .96 1.24 1.67

2 0 0 0 0 0 1219 0 0 0 1866 1836 1818 1818 1822
2 1822 1817 1824 1816 1833 1817 1830 1814 1840 1859

3 620 620 620 620 620 360 360 0 0 0 0 360
3 360 360 360 360 0 0 0 0 0 360 360

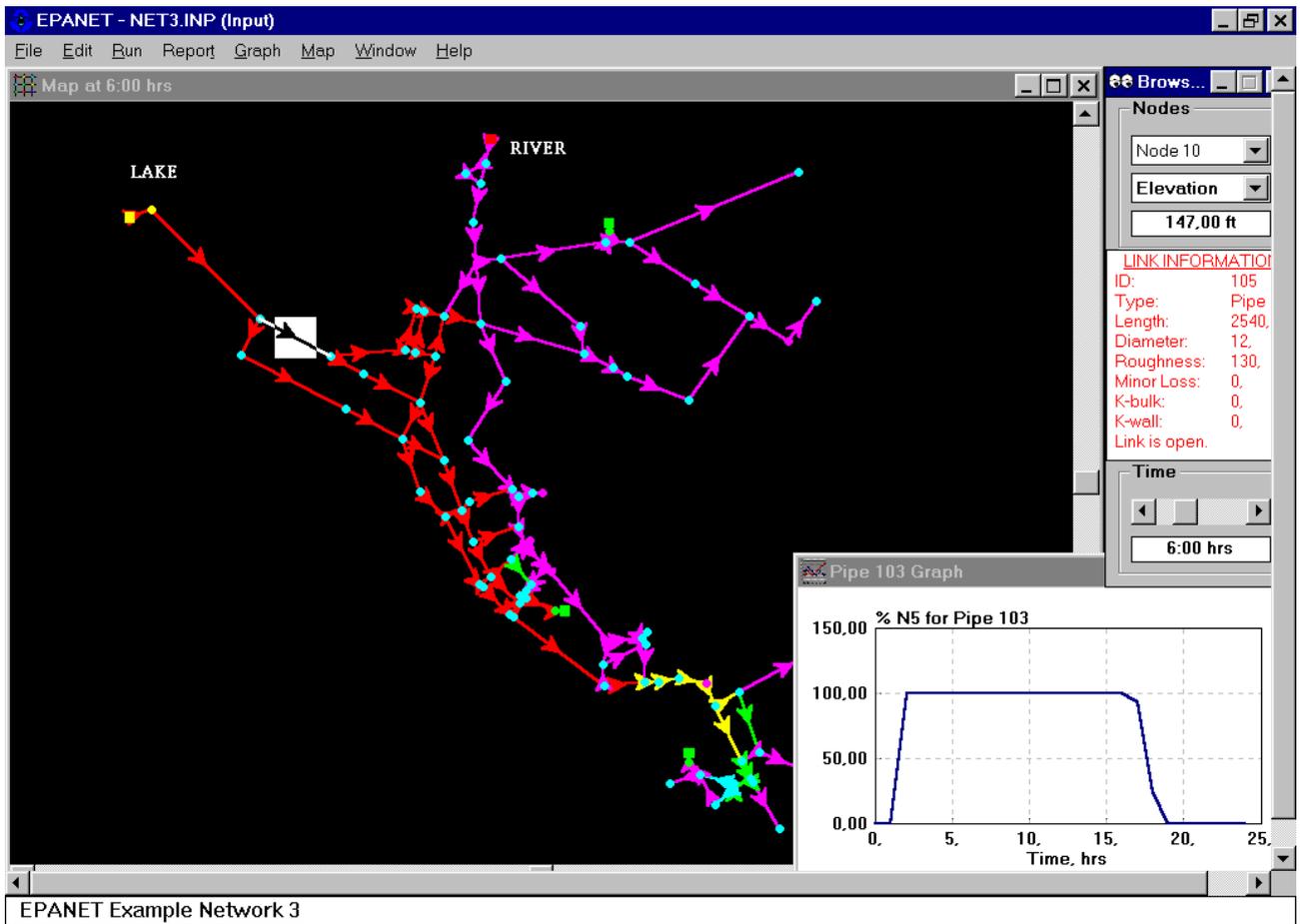
4 1637 1706 1719 1719 1791 1819 1777 1842 1815 1825
4 1856 1801 1819 1733 1664 1620 1613 1620 1616 1647
4 1627 1627 1671 1668

5 4439 4531 4511 4582 4531 4582 4572 4613 4643 4643
5 4592 4613 4531 4521 4449 4439 4449 4460 4439 4419
5 4368 4399 4470 4480

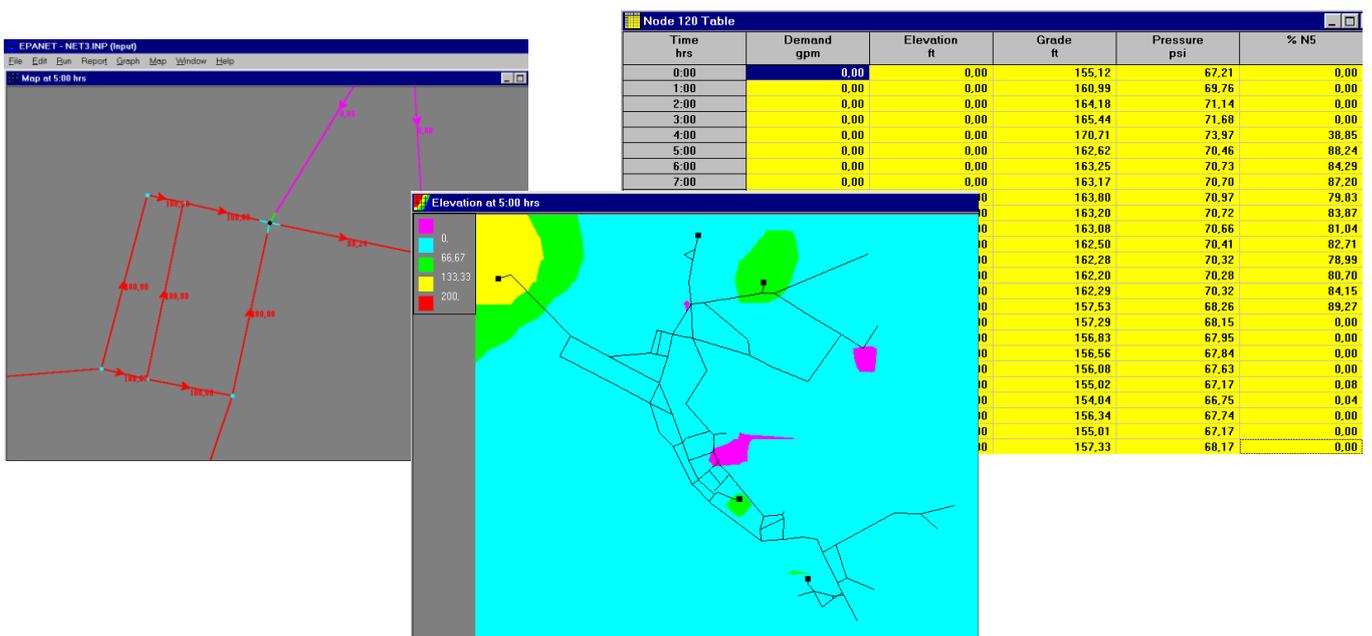
[PIPES]
-----
;
; ID Start End L D C
;
;
; 20 3 20 99 99 199
; 40 1 40 99 99 199
; 50 2 50 99 99 199
-----

EPANET Example Network 3
```

Si effettua la simulazione oraria e si visualizzano pressioni e concentrazioni nei singoli archi.



Si possono ottenere ingrandimenti, mappe riassuntive, valori numerici.



SIMULAZIONE - CASO DI STUDIO:

La salinità del Lago Nasser

Vedi: Whittington, Guariso, *Water Management Models in Practice: A Case Study of the Aswan High Dam*, Elsevier, 1983, [Capitolo 3](#)





I dati : evaporazione

Table 3.1
Estimates of Monthly Evaporation Rates from Lake Nasser (*mm/day*)

Month	Ministry of Irrigation	Omar and El-Bakry
January	4.10	3.9
February	4.95	5.4
March	6.85	7.4
April	8.75	8.9
May	9.50	10.0
June	10.80	11.2
July	9.75	10.7
August	9.20	10.6
September	9.10	9.5
October	7.90	7.3
November	5.60	6.3
December	3.95	4.1
Mean	7.54	7.9

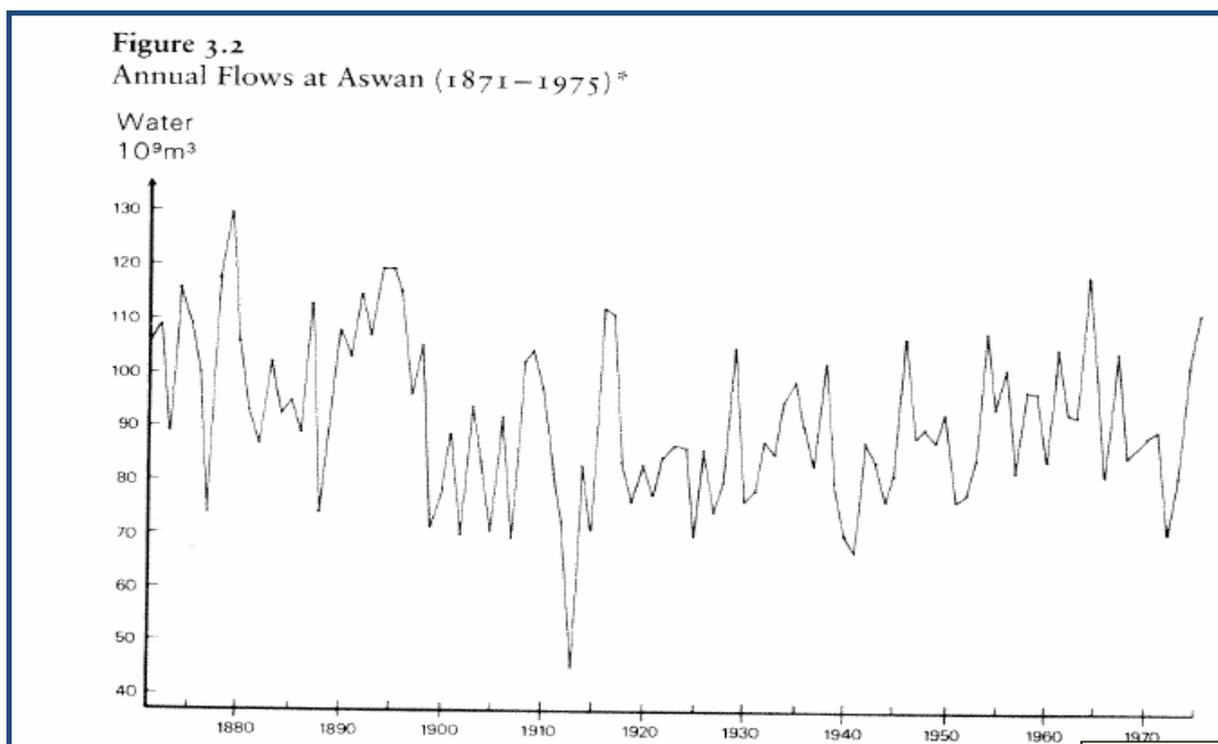
Source: Omar, M. H., and El-Bakry, F., (1970)

Relazione superficie – volume (S(V))

Water level at the High Dam (m.a.s.l.)	Surface area (km ²)	Reservoir volume (10 ⁹ m ³)	Water level at the High Dam (m.a.s.l.)	Surface area (km ²)	Reservoir volume (10 ⁹ m ³)
137	1089	17.6	162	3202	67.6
138	1140	18.7	163	3328	70.9
139	1191	19.9	164	3454	74.3
140	1242	21.2	165	3581	77.9
141	1311	22.5	166	3726	81.5
142	1380	23.8	167	3871	85.3
143	1449	25.2	168	4016	89.2
144	1519	26.7	169	4162	93.3
145	1589	28.3	170	4308	97.6
146	1663	29.9	171	4480	101.9
147	1737	31.6	172	4652	106.4
148	1812	33.4	173	4824	111.1
149	1887	35.3	174	4996	116.1
150	1962	37.2	175	5108	121.3
151	2052	39.2	176	5358	126.5
152	2142	41.3	177	5548	131.9
153	2232	43.5	178	5738	137.5
154	2323	45.7	179	5928	143.4
155	2414	48.1	180	6118	149.5
156	2521	50.5	181	6329	155.8
157	2628	53.1	182	6540	162.3
158	2735	55.7	183	6751	168.9
159	2842	58.5	184	6962	175.7
160	2950	61.5	185	7174	182.7
161	3076	64.5			

Source: Egyptian Ministry of Irrigation, High Dam Authority (1975)

Afflussi



Prelievi del Sudan e rilasci fissati dalla diga di Assuan

Table 3.3
Sudanese Withdrawals ($10^6 m^3$ Measured at Aswan)

Month	1975	Early 1980's
January	1328	2184
February	1221	2008
March	992	1632
April	681	1120
May	335	552
June	363	597
July	769	1266
August	1013	1666
September	829	1364
October	809	1331
November	1439	2367
December	1467	2413
Total	11,250	18,500

Table 3.5
Assumed Fixed Discharge Program for the Aswan High Dam

Month	$10^6 m^3$
January	3600
February	3900
March	4600
April	4400
May	5100
June	6500
July	6900
August	5600
September	3800
October	3800
November	3700
December	3600

Il modello del serbatoio (discreto, passo t mensile, m mese):

$$\text{Volume}(t+1) = \text{Volume}(t) + \text{afflusso}(t) + \\ - \text{infiltrazione}(t) - \text{evaporazione}(t) - \text{prelievo}(t) - \text{rilascio}(t)$$

$$\text{infiltrazione}(t) = \alpha V(t) = 0,08 V(t)$$

$$\text{evaporazione}(t) = \beta_m S(V(t))$$

$$\text{prelievo}(t) = p_m$$

$$\text{rilascio}(t) = r_m$$

$$V_{\min}, V_{\max}, \underline{V} \text{ volume calcolato}$$

$$\underline{V}(t+1) = V(t+1) = 0,92 V(t) + \text{afflusso}(t) - \beta_m S(V(t)) - p_m - r_m \\ \text{se } V_{\min} \leq V(t+1) \leq V_{\max}$$

$$V(t+1) = V_{\max} \quad \text{se } \underline{V}(t+1) \geq V_{\max}$$

$$V(t+1) = V_{\min} \quad \text{se } \underline{V}(t+1) \leq V_{\min}$$

Il bilancio della salinità

Table 3.7
Assumed Salinity of Monthly Inflows to Lake Nasser (ppm)

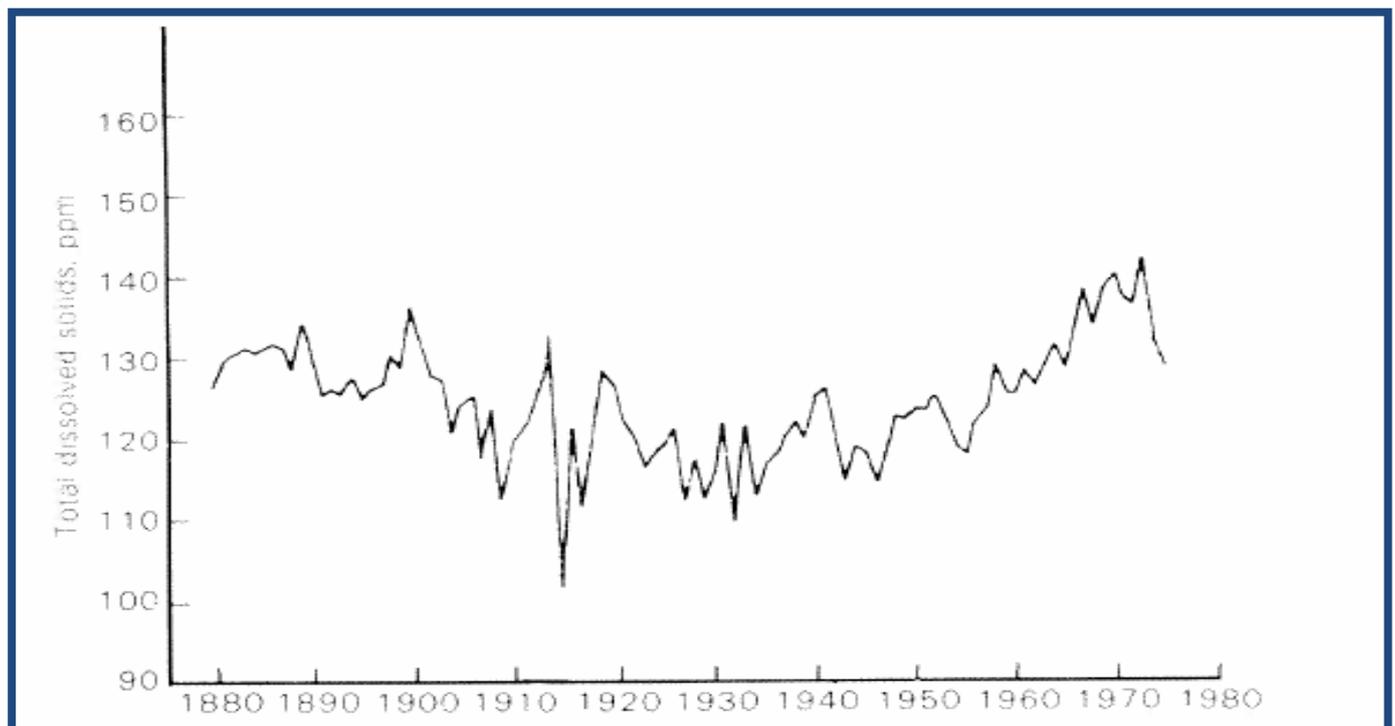
Month	Mean
January	115
February	128
March	136
April	155
May	165
June	132
July	98
August	105
September	106
October	96
November	93
December	103

Occorre scrivere un modello (equazione di bilancio) anche per il sale:

- c_m concentrazione in ingresso del mese m
- $c(t)$ concentrazione nel lago e quindi nei deflussi

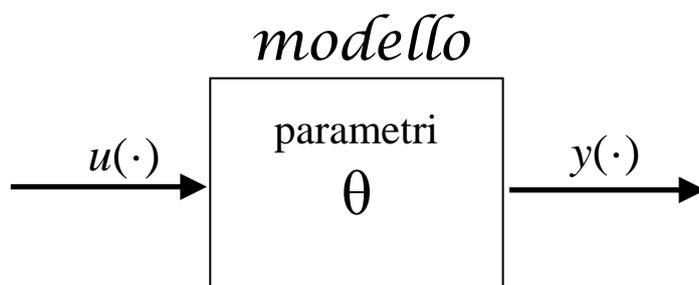
$$c(t+1) = [c(t)V(t) + c_m a(t) - (r_m + 0,08V(t) + p_m)c(t)] / V(t+1)$$

Risultati



TARATURA DEI MODELLI: approccio deterministico

La maggior parte delle volte i modelli vanno “*tarati*” (calibrati, stimati) per adattarli al meglio ai dati disponibili.

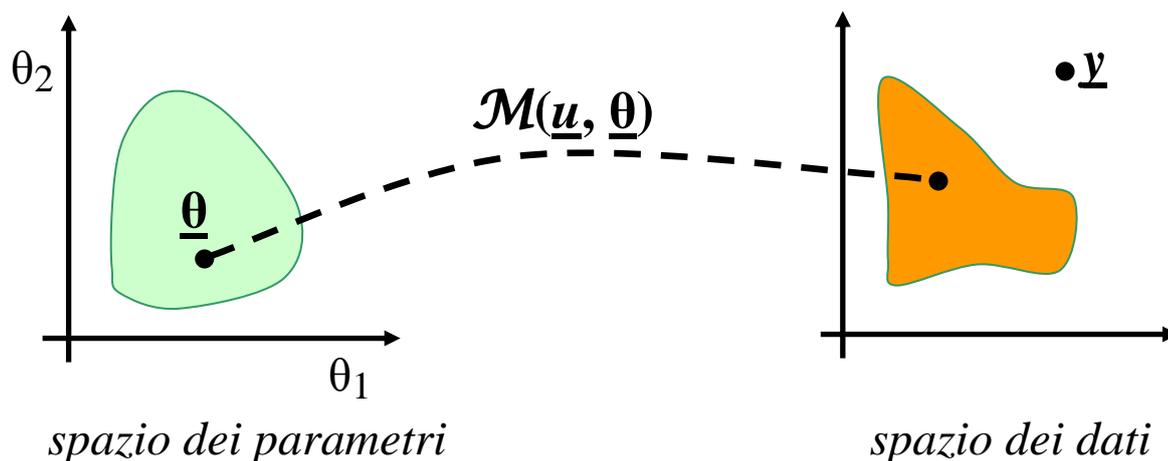


Il modello può essere visto come qualcosa che trasforma gli ingressi nelle uscite, in funzione dei parametri θ . Quindi

$$\mathbf{y} = \mathcal{M}(\mathbf{u}, \theta)$$

In generale, se \underline{u} e \underline{y} rappresentano i valori misurati,

$$\exists \theta^* : \underline{y} = \mathcal{M}(\underline{u}, \theta^*)$$



Occorre quindi determinare, tra tutti i risultati ottenibili al variare dei parametri, quali sono i valori per i quali il modello approssima “meglio” i dati.

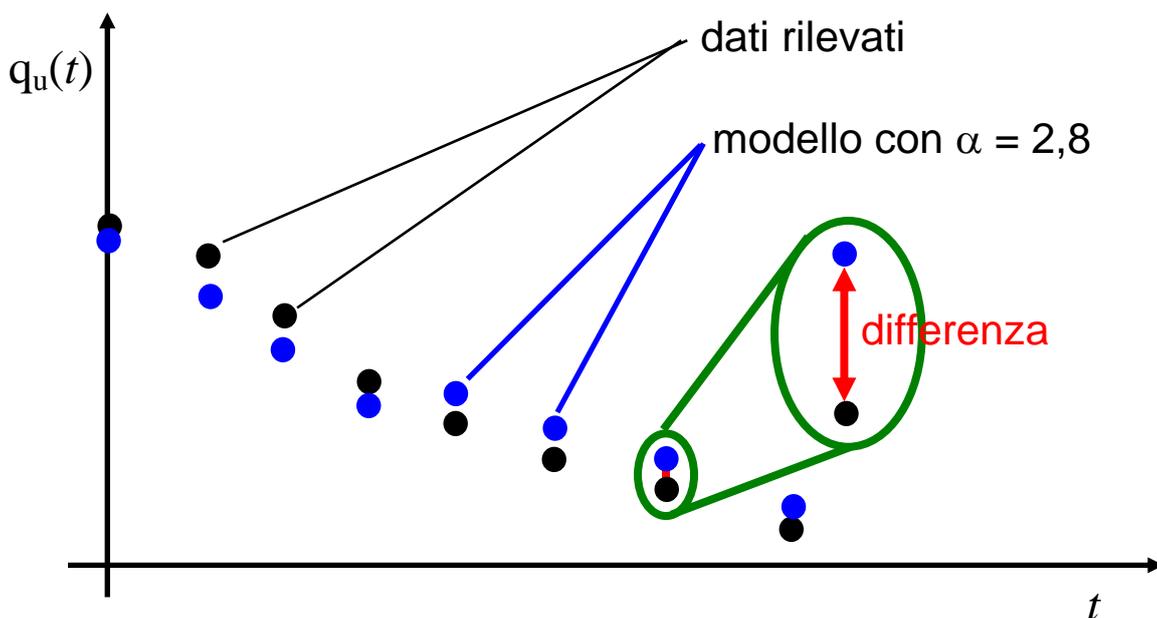
SI ADOTTA QUINDI LA SEGUENTE PROCEDURA (problema di ottimizzazione)

1. Si scelgono equazioni/struttura del modello
(**concettualizzazione**)
2. si definisce un criterio di similitudine tra dati e risultati
3. si scelgono dei valori per i parametri del modello
4. si simula il modello con i valori scelti al punto precedente
5. si calcola il criterio di similitudine
6. si modificano i valori dei parametri e si torna al punto 3 finché si ottiene il valore migliore del criterio.

Esempi di criteri di similitudine:

- massima differenza
- correlazione
- **somma delle differenze al quadrato**
- ...

$$\min_{\text{parametri}} \sum_{\text{dati}} (y_{\text{calc}} - y_{\text{mis}})^2$$



CRITERIO DEI MINIMI QUADRATI

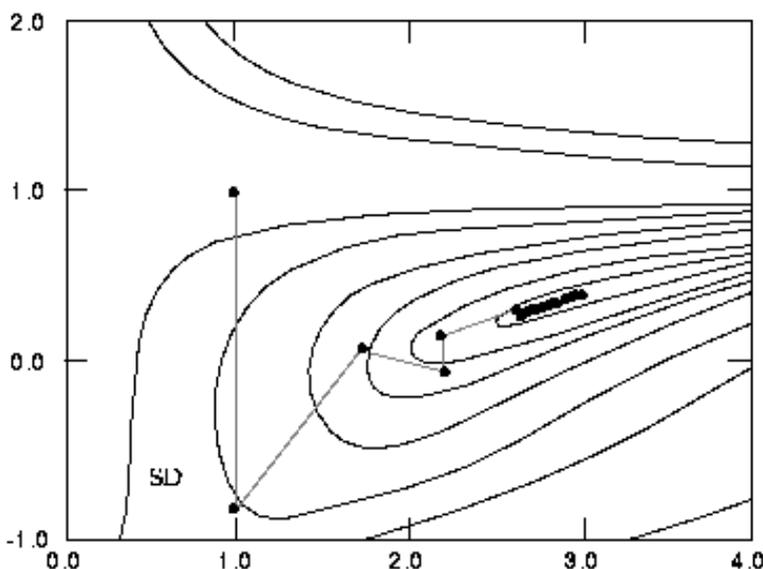
VANTAGGI:

- vengono pesati sia scarti positivi che negativi
- vengono pesati di più gli scarti elevati

SVANTAGGI

- determina un comportamento "medio"
- in generale è un problema di ottimizzazione non banale. Per risolverlo si possono usare:
 - algoritmi tipo "griglia" (si fissano degli intervalli ragionevoli per i parametri, li si suddivide in parti uguali e si provano tutte le combinazioni);
 - algoritmi di ricerca casuale (si provano combinazioni "casuali" dei parametri);
 - algoritmi iterativi che cercano il minimo della somma degli scarti quadratici per approssimazioni successive (vedi EXCEL).

ESEMPIO DI ALGORITMO ITERATIVO: discesa più ripida



Occorre risolvere 2 sottoproblemi:

- in che direzione spostarsi,
- quanto spostarsi.

La discesa più ripida è lungo il vettore "gradiente", per calcolare il quale bisogna valutare localmente le derivate...

CRITERIO DEI MINIMI QUADRATI (2)

TUTTAVIA,

se il modello è *lineare nei parametri*, esiste una formula ANALITICA che risolve il problema.

$$\begin{aligned}y(1) &= \theta_1 \cdot (u_1, x(u_1)) + \theta_2 \cdot (u_1, x(u_1)) + \dots \\y(2) &= \theta_1 \cdot (u_2, x(u_2)) + \theta_2 \cdot (u_2, x(u_2)) + \dots \\&\dots\dots\dots\end{aligned}$$



$$\mathbf{y} = \mathbf{M}(\mathbf{u}) \boldsymbol{\theta}$$

vettore
uscite

matrice
di valori
numerici

vettore dei
parametri
incogniti

fissato $\mathbf{u} = \underline{\mathbf{u}}$ (ingressi rilevati), si vorrebbe determinare $\boldsymbol{\theta}^*$ tale che:

$$\underline{\mathbf{y}} = \mathbf{M}(\underline{\mathbf{u}}) \boldsymbol{\theta}^*$$

ma \mathbf{M}^{-1} non esiste perché \mathbf{M} è rettangolare, quindi:

$$\mathbf{M}^T \underline{\mathbf{y}} = \mathbf{M}^T \mathbf{M} \boldsymbol{\theta}^*$$

che, salvo casi particolari, si può risolvere perché $\mathbf{M}^T \mathbf{M}$ è ovviamente quadrata.

La formula analitica è perciò

$$\boldsymbol{\theta}^* = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T \underline{\mathbf{y}}$$

Si noti che la matrice da invertire $(\mathbf{M}^T \mathbf{M})$ ha le dimensioni del numero di parametri ed è quindi di ridotte dimensioni anche quando sono disponibili molte rilevazioni sperimentali.

CRITERIO DEI MINIMI QUADRATI (3)

Esiste inoltre un'equivalente *formula ricorsiva* che aggiorna il valore dei parametri ogni volta che sono disponibili nuovi dati e raggiunge, a regime, lo stesso valore θ^* indipendentemente dal valore inizialmente assegnato ai parametri.

Esempio di stima ricorsiva: media di N numeri

$$\mu_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^{N-1} n_i + n_N \right) = \frac{1}{N} (\mu_{N-1} (N-1) + n_N) =$$

$$= \frac{1}{N} (\mu_{N-1} (N-1) + n_N + \mu_{N-1} - \mu_{N-1}) = \mu_{N-1} + \frac{1}{N} (n_N - \mu_{N-1})$$



La media di N numeri è calcolabile in base alla media dei primi N-1 numeri e dell'ultimo numero pervenuto.

Analogamente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta^{(n+1)} = \theta^{(n)} + \mathbf{P}^{(n+1)} \mathbf{m}_{n+1} (\mathbf{y}_{n+1} - \mathbf{m}_{n+1}^T \theta^{(n)}) \\ \mathbf{P}^{(n+1)} = \mathbf{P}^{(n)} - 1 / (1 + \mathbf{m}_{n+1}^T \mathbf{P}^{(n)} \mathbf{m}_{n+1}) \mathbf{P}^{(n)} \mathbf{m}_{n+1} \mathbf{m}_{n+1}^T \mathbf{P}^{(n)} \end{array} \right.$$

dinamica della matrice dei pesi

CRITERIO DEI MINIMI QUADRATI : casi particolari

- **Scomposizione**

$$y = M(u, \theta_1) \theta_2$$

cioè lineare nel sottoinsieme dei parametri θ_2 .

Si opera con un algoritmo non lineare su θ_2 e, a ogni passo, si risolve un problema lineare per θ_1 .

- **Linearizzazione**

Il modello può essere reso lineare nei parametri mediante una trasformazione (es. logaritmica).

Es. funzione di produzione

$$y = \alpha u^\beta v^\gamma \Rightarrow \text{applico log} \Rightarrow \log y = \log \alpha + \beta \log u + \gamma \log v$$

che è lineare nel vettore di parametri $\theta = [\log \alpha \quad \beta \quad \gamma]^T$.

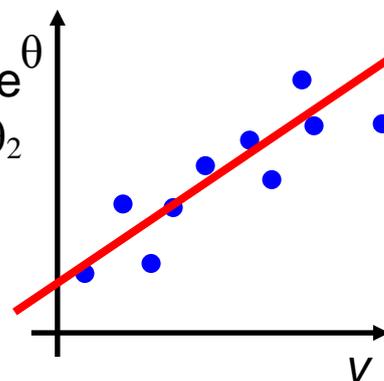
Si calcola $\theta^* \Rightarrow$ si valuta $\log y \Rightarrow$ si antitrasforma

- **Regressione sui parametri**

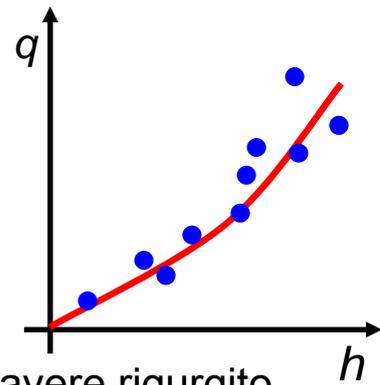
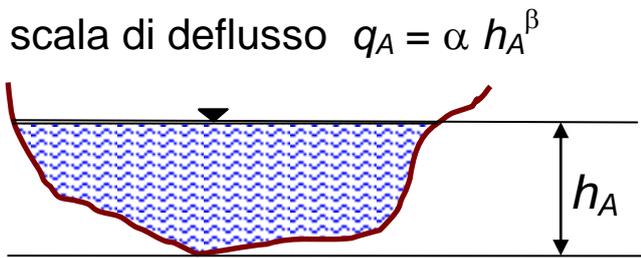
$$y = M(u, \theta(v))$$

cioè i parametri sono, a loro volta, funzione di qualche ingresso:

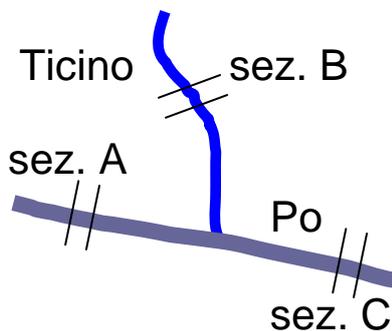
1. si stima un valore θ_1 corrispondente a y_1, u_1, v_1 ; un altro valore θ_2 corrispondente a y_2, u_2, v_2 ; ...
2. si opera una regressione di θ su v
Es. $\theta^* = a v + b$



ESEMPIO: scomposizione e linearizzazione



Nel caso di giunzione tra corsi d'acqua si può avere rigurgito.



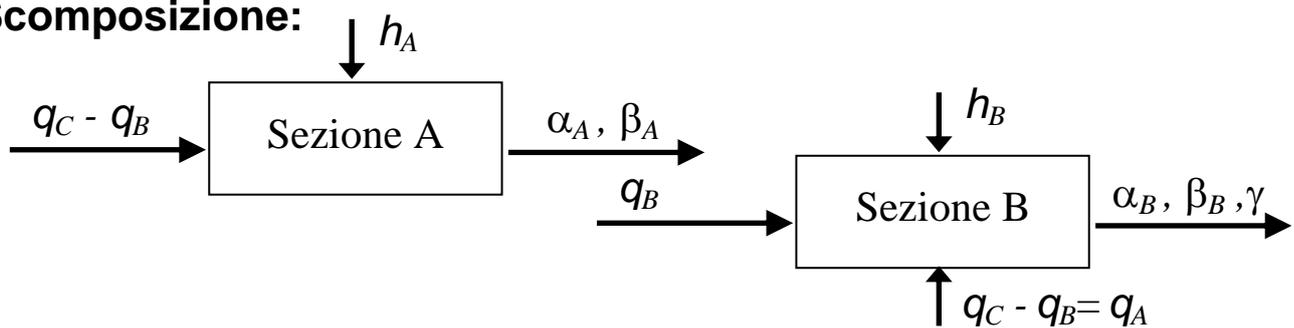
Nella sez. B ci può essere rigurgito se le portate del Po sono elevate rispetto a quelle del Ticino:

$$q_B = \alpha h_B^\beta q_A^\gamma$$

Dati: altezze idrometriche in A, h_A
portate e altezze idrometriche in B, q_B, h_B
portate in C, q_C

Parametri: $\alpha_A, \beta_A, \alpha_B, \beta_B, \gamma$

Scomposizione:



Linearizzazione:

$$\log q_A = \log \alpha_A + \beta_A \log h_A$$

$$\log q_B = \log \alpha_B + \beta_B \log h_B + \gamma \log q_A$$

che è del tipo $y=M\theta$
nei parametri $\log \alpha_A,$
 $\beta_A, \log \alpha_B, \beta_B, \gamma$