

**MODELLI DI SIMULAZIONE DELLE ACQUE
SUPERFICIALI**

Ing. Daniela Maggiori

Tutor: Ing. G. Marella

Abstract

The aim of this work is to evaluate the transport of a pollutant and its diffusion along the river to quantify the risk of environmental pollution. To do this was been necessary use the SMS8.1 (Surfacewater Modelling System) program and specially its modules RMA2 and RMA4. RMA2 is a two dimensional depth averaged finite element hydrodynamic numerical model. It computes water surface elevations and horizontal velocity components for subcritical, free-surface flow in two dimensional flow fields.

- RMA2 computes a finite element solution of the Reynolds form of the Navier-Stokes equations for turbulent flows. Friction is calculated with the Manning's or Chezy equation, and eddy viscosity coefficients are used to define turbulence characteristics. Both steady and unsteady state (dynamic) problems can be analyzed. The RMA2 program has been applied to calculate water levels and flow distribution around islands; flow at bridges having one or more relief openings, in contracting and expanding reaches, into and out of off-channel hydropower plants, at river junctions, and into and out of pumping plant channels; circulation and transport in water bodies with wetlands; and general water levels and flow patterns in rivers, reservoirs, and estuaries. RMA2 is a general purpose model designed for far-field problems in which vertical accelerations are negligible and velocity vectors generally point in the same direction over the entire depth of the water column at any instant of time. It expects a vertically homogeneous fluid with a free surface.
- RMA4 is a finite element water quality *transport* numerical model in which the depth concentration distribution is assumed uniform. It computes concentrations for up to 6 constituents, either conservative or non-conservative, within the one-and/or two-dimensional computational mesh domain. The water quality model, RMA4, is designed to simulate the depth-average advection-diffusion process in an aquatic

environment. The model can be used for the evaluation of any conservative substance that is either dissolved in the water or that may be assumed to be neutrally buoyant within the water column. The model is also used for investigating the physical processes of migration and mixing of a non-conservative substance in reservoirs, rivers, bays, estuaries and coastal zones. The model is useful for evaluation of the basic processes or for defining the effectiveness of remedial measures. For most applications, the model utilizes the depth-averaged hydrodynamics from RMA2. RMA4 is a general purpose model designed to investigate physical processes which are responsible for the distribution of pollutants in the environment, and for testing the effectiveness of remedial control measures at high speed and low cost. The methodology is restricted to one-dimensional and two-dimensional systems in which the concentration distribution in the vertical dimension is assumed uniform.

INDICE

Capitolo 1

Introduzione pag. 2

Capitolo 2

Metodologia pag. 3

Capitolo 3

Introduzione all'SMS (Surfacewater Modeling System) pag. 4

Capitolo 4

Costruzione del modello pag. 7

Capitolo 5

Conclusioni pag. 20

Bibliografia

pag. 21

Siti visitati

pag. 22

1 Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è la valutazione dei campi di applicazione del software SMS8.1, e il modo di utilizzare il programma per affrontare tematiche ambientali quali la valutazione del rischio di inquinamento delle acque superficiali.

In particolare nell'applicazione al caso reale del modello, si è cercato di capire come i contaminanti possano passare nelle acque fluviali e siano da esse trasportati e dispersi.

2 Metodologia

Per lo svolgimento di questo lavoro è stato necessario il reperimento dei dati di tipo geografico (mappe in formato digitale), idraulico, idrodinamico, geologico e dati relativi al tipo di inquinanti e all'uso dei suoli.

Tutti questi dati sono stati utilizzati come in-put per il programma, il quale su di essi costruisce il modello per le simulazioni idrauliche e di dinamica degli inquinanti.

In particolar modo per la costruzione del modello sono necessari i dati geo-morfologici del sito e quelli relativi all'uso del suolo, per le simulazioni invece sono necessari i dati relativi alle condizioni idrauliche, al contorno e al tipo di inquinanti e/o sedimenti.

Facendo variare i vari parametri in in-put in un range di valori rappresentativi di tante situazioni possibili si può effettuare un'analisi di sensitività del modello.

Come dati di out-put otteniamo, oltre l'andamento idraulico del corso d'acqua in esame nelle varie condizioni di portata, anche le concentrazioni di inquinanti nei vari tratti dell'asta fluviale a valle del punto di inquinamento e/o le zone di erosione e deposizione dei sedimenti, erosi e trasportati dal fiume.

3 Introduzione all'SMS (Surfacewater Modeling System)

Prima di spiegare il lavoro svolto per lo stage è necessaria una breve introduzione per illustrare il programma utilizzato. L'SMS (Surfacewater Modeling System) è un programma capace di modellare l'altitudine della superficie idrica, la velocità di flusso, il trasporto e la dispersione degli agenti inquinanti, il trasporto e il deposito dei sedimenti, il flusso sub-critico e super-critico e le onde lunghe di costa per problemi complessi di flusso orizzontale bidimensionale. Le principali peculiarità e i vari moduli del programma sono riportati nell'elenco sottostante e vengono di seguito spiegati:

- Modulo del reticolo
- Interpolazione dati
- Strumenti GIS
- Grafica avanzata
- Importazione File Wizard
- Analisi dell'onda
- FESWMS Model Support
- RMA2 Model Support
- RMA4 Model Support
- HIVEL-2D Model Support
- SED-2D Model Support

- *Modulo del reticolo*

L'SMS fornisce strumenti automatici per costruire reticoli di elementi finiti. È previsto inoltre un assortimento di strumenti interattivi di editing per facilitare un modeling accurato di elementi speciali nel reticolo quali spartiacque, frangiflutti, isole e strutture costruite dall'uomo.

- *Interpolazione dati*

Lo Scatter Data Module nell'SMS è usato per interpolare da gruppi di punti sparsi a un reticolo. L'interpolazione può essere usata per fornire le condizioni iniziali, comparare i risultati di reticoli sovrapposti o verificare una soluzione.

- *Strumenti GIS*

L'SMS permette di utilizzare gli oggetti GIS per creare un modello concettuale. Immettendo parametri generali per gli oggetti GIS l' SMS creerà automaticamente il reticolo e assegnerà le condizioni di delimitazione.

- *Grafica avanzata*

I risultati dell'analisi possono essere prodotti o visualizzati graficamente usando svariati tracciati, compresi i tracciati vettoriali, i tracciati dei profili, i tracciati tempo-storici, e i tracciati di animazione.

- *Importazione File Wizard*

Qualsiasi file di testo ASCII incolonnato può essere aperto nello SMS sotto forma di nodi del reticolo o dati sparsi. Qualsiasi carattere può delimitare le colonne dei dati.

- *Analisi dell'onda*

L' SMS è in grado di creare ed editare griglie cartesiane con supporto per lo STWAVE Long Shore Wave Model.

- *FESWMS Model Support*

Il modello FESWMS può modellare il flusso attraverso ponti, canali sotterranei, aperture a cancello, aperture a caduta, sfioratori, dighe, dighe di contenimento e argini di autostrade.

- *RMA2 Model Support*

Il modello RMA2 si usa per il modeling di fiumi, marcite ed estuari.

- *RMA4 Model Support*

Il modello RMA4 si usa per definire le condizioni di delimitazione e i parametri di analisi per il modeling di elementi idrodinamici finiti e del trasporto di agenti inquinanti.

- *HIVEL-2D Model Support*

Il modello HIVEL-2D si usa per analizzare Il flusso idrodinamico super-critico e sub-critico.

- *SED-2D Model Support*

Il modello SED-2D si usa per definire i parametri di modeling, l'analisi di trasporto e di deposito di sedimenti di un elemento finito.

- *WSPRO Model Support*

Il modello WSPRO si usa per modellare corsi d'acqua navigabili attraversati da ponti.

4 Costruzione del modello

Per lo svolgimento di questo lavoro sono stati utilizzati solo alcuni dei codici di calcolo compresi nel programma, ed in particolare sono stati usati quei codici che interfacciandosi con il modello idrodinamico bidimensionale riescono a simulare, oltre al trasporto dei contaminanti e alla loro dispersione lungo un'asta fluviale, anche l'erosione e il trasporto dei sedimenti.

Per poter costruire un modello idrodinamico utilizzando questo programma il primo passo da compiere è quello di trovare una base cartografica sulla quale lavorare; l'SMS, utilizzando il 'map module', può ricevere in in-put una immagine in formato TIFF, così che sia una foto aerea scannerizzata che una carta geografica possono fare da base per il successivo lavoro di modellazione.

Acquisita la base cartografica, essa va georeferenziata; nel caso che sia già disponibile la codifica per la georeferenziazione essa avverrà automaticamente altrimenti si può procedere alla georeferenziazione manuale, fissando sulla carta tre punti di coordinate note e assegnando ad essi le coordinate rispetto al sistema di riferimento scelto. Per le coordinate orizzontali si possono utilizzare: le coordinate geografiche, le UTM, le State Plane o si può definire un sistema di riferimento ad hoc.

Fatta la georeferenziazione si passa a modellare il territorio tramite una interpolazione dei dati bidimensionali della cartografia con quelli relativi alle quote che sono contenuti in un file che riporta i valori delle quote dei punti "sparsi"; anche essi devono essere georeferenziati.

Qualora non si disponga dei dati altimetrici, come nel caso in esame, è possibile costruire, sulla base cartografica assegnata, un file di dati sparsi che riporti le quote dei punti noti.

Per fare questo è stato creato un file apposito assegnando le quote ai punti a quota nota, in

particolare a quelli lungo le isoipse della carta rappresentante la zona esaminata, dopodiché è stato salvato come un file con estensione “.sup”.

Il file così creato è stato interpolato con la base cartografica bidimensionale; come interpolazione si è scelta quella di tipo lineare. Inoltre attraverso l’operazione di filtraggio si può ridurre il numero di punti ridondanti; il risultato è mostrato nella figura sottostante.

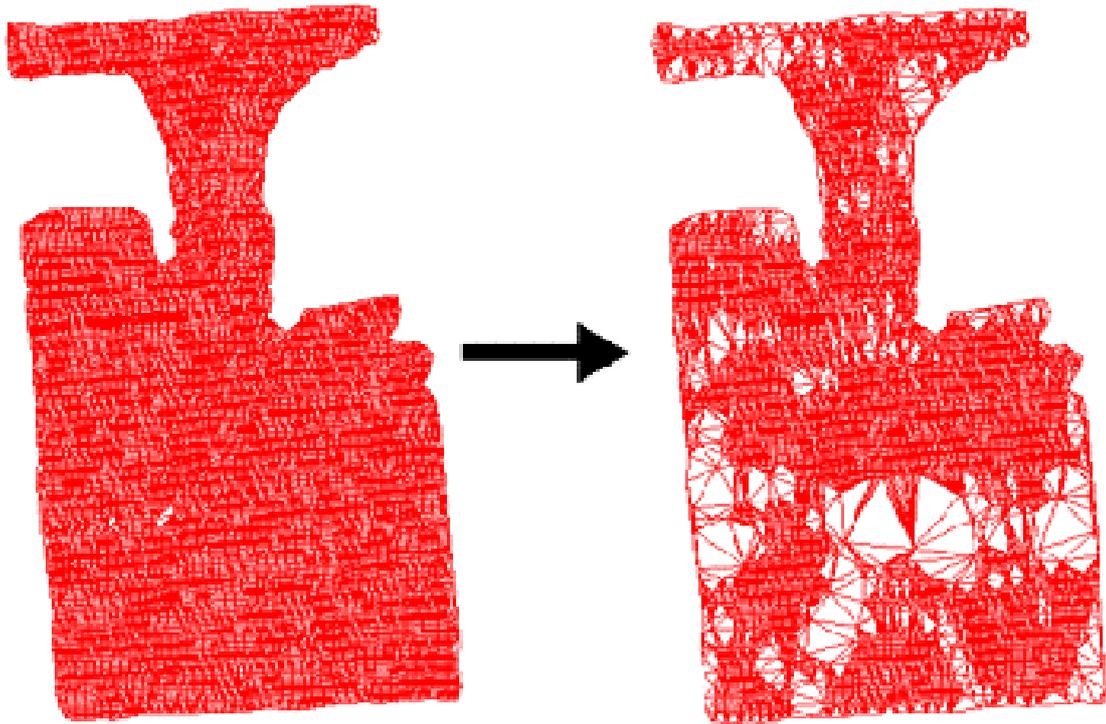


Fig .1 Operazione di filtraggio

Dopo aver ricostruito la morfologia del territorio si passa alla creazione di una maglia che delimiti i confini del corso d’acqua e delle fasce di esondazione, tale maglia dovrà essere ad elementi quadratici, in particolar modo avrà sei nodi per elementi triangolari e otto nodi per elementi quadrilateri, come mostrato in figura:

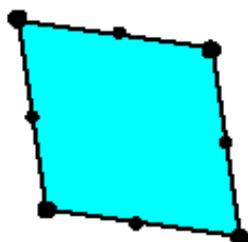
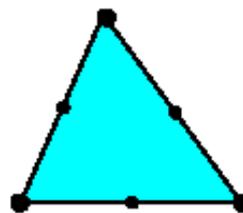


Fig .2 Elemento rettangolare



Elemento triangolare

Un esempio di una maglia ad elementi quadratici è riportata nell'immagine sottostante:

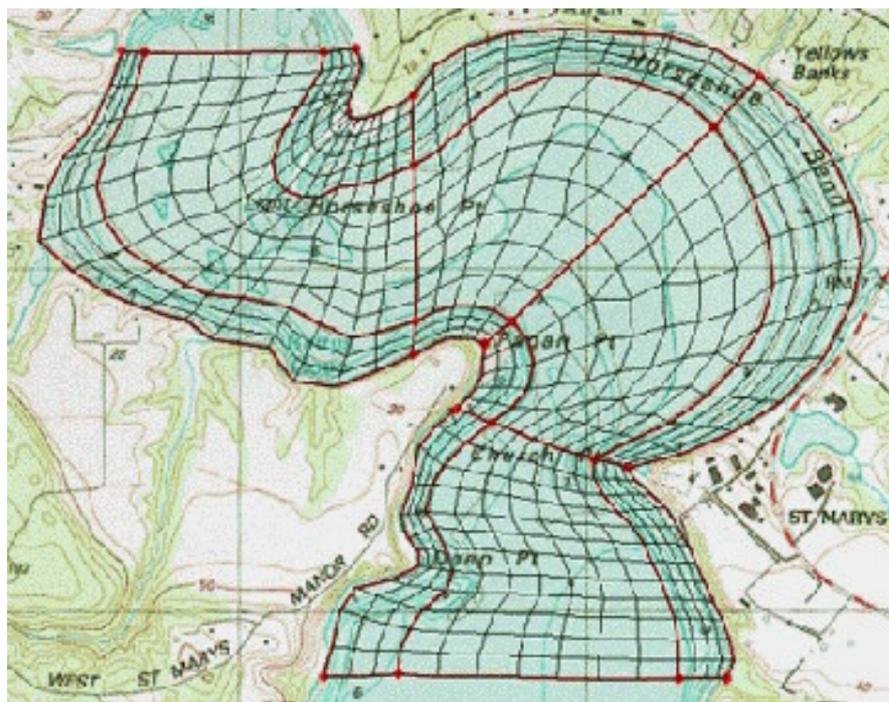


Fig.3 Esempio di maglia ad elementi quadratici

Ricostruita così la geometria della zona in esame prima di far partire le simulazioni idrauliche è necessario generare il file geometrico, che è un file binario generato dal programma GFGEN (Geometry File Generator).

L'RMA2 è un modello numerico bidimensionale agli elementi finiti che computa l'altezza della superficie idrica e le componenti orizzontali della velocità nel campo di corrente bidimensionale della superficie libera nello stato sub-critico. Per lo stato turbolento l'SMS computa la soluzione a elementi finiti delle equazioni di Navier-Stokes e di Reynolds. L'attrito è calcolato con l'equazione di Chezy o con quella di Manning, e per definire la turbolenza si utilizza il coefficiente di viscosità cinematica. Possono essere analizzati sia lo stato stazionario che quello dinamico.

Come già accennato in precedenza l'RMA2 integra le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, la forma di queste equazioni è di seguito riportata:

$$\begin{aligned}
& h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\
& + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
& - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0
\end{aligned}
\tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\
& + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
& - \zeta V_a^2 \sin \psi + 2h\omega v \sin \phi = 0
\end{aligned}
\tag{2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0
\tag{3}$$

dove:

h = Profondità

u, v = Velocità nelle direzioni cartesiane

x, y, t = Coordinate cartesiane e tempo

ρ = Densità del fluido

E = coefficiente di viscosità cinematica,

for xx = direzione normale alla superficie di asse x

for yy = direzione normale alla superficie di asse y

for xy and yx = direzione di taglio ad ogni superficie

g = Accelerazione di gravità

a = altezza del fondo

n = numero di Manning valore di scabrezza

1.486 = Conversione da SI (metric) al non-SI units

z = Coefficiente di taglio empirico del vento

Va = velocità del vento

y = direzione del vento

w = Percentuale della rotazione angolare della terra

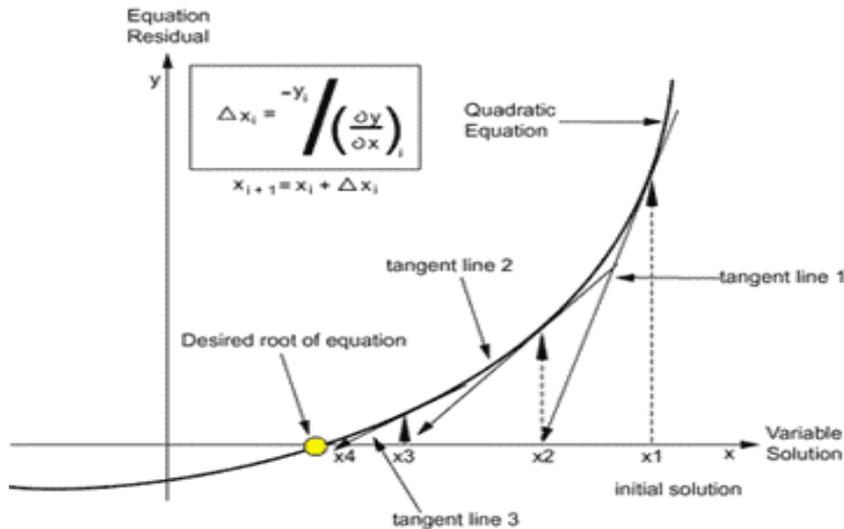
f = latitudine locale

Le equazioni 1, 2 e 3 sono risolte con il metodo degli elementi finiti, gli elementi possono essere monodimensionali o bidimensionali quadrilateri o triangolari. La forma della funzione è quadratica per le velocità e lineare per la profondità. L'integrazione nello spazio è svolta come una integrazione Gaussiana. Le derivate nel tempo sono sostituite da una approssimazione non lineare alle differenze finite. Le variabili sono assunte per ogni intervallo temporale nella forma:

$$f(t) = f(0) + at + bt^c \quad t_0 \leq t < t_0 + \Delta t \quad (4)$$

che è differenziata rispetto al tempo, e calcolata nella forma delle differenze finite. Le lettere a , b , c sono costanti e per la c un buon valore è 1,5.

Per iniziare la simulazione idraulica con l'RMA2 è necessario assegnare le condizioni iniziali per i nodi della mesh, dai quali il programma inizierà le iterazioni per trovare le soluzioni. Poiché i valori iniziali spesso sono lontani dallo stato della simulazione i valori trovati per i primi step temporali saranno affetti da inaccuratezza, ed è conveniente scartare le simulazione delle prime ore. Un'altra peculiarità di questo codice di calcolo è quella di poter riprendere le simulazioni dal punto in cui erano state interrotte, inoltre è possibile specificare il numero di iterazioni che saranno richieste per risolvere un particolare problema seguendo i criteri di convergenza, infatti il programma lavora in modo da rendere l'errore residuale il più possibile vicino allo zero. Per fare ciò l'RMA2 utilizza lo schema di convergenza di Newton-Raphson; di seguito è riportata una figura che mostra come il modello lavora.



x_1 = the initial guess at the solution
 x_2 = the next guess, which is the solution obtained from x_1
 x_i = the next guess, which is the solution obtained from $x_{(i-1)}$

Come condizioni iniziali si assegnano i valori di portata a monte e a valle del tratto di fiume considerato. Nel caso preso in esame si è considerato che la portata non subisse variazioni; altra condizione da assegnare per iniziare la simulazione è il valore di altezza idrometrica di valle. Quindi per i dati in ingresso sono sufficienti le misure dei livelli idrometrici a monte e a valle, infatti tramite una scala di deflusso per le medesime sezioni è immediato conoscere quale portata corrisponde ai rispettivi livelli idrometrici. Questo risulterebbe molto utile nel caso si volessero valutare, in tempo reale, gli effetti di una eventuale inondazione, infatti il programma è in grado di valutare oltre le altezze idrometriche anche le parti di territorio, ovvero gli elementi della mesh che rappresentano il territorio, che sono bagnate dall'acqua per il corrispondente valore di altezza idrometrica. A tutto questo si aggiunge il fatto che come dati di in-put si possono inserire i valori di pioggia ed evaporazione, i quali si possono introdurre proprio nell'intervallo temporale della simulazione in cui realmente si verificano.

Assegnate le condizioni al contorno, definite le proprietà dei materiali che costituiscono il territorio e assegnati quindi i rispettivi valori di rugosità per le corrispondenti porzioni della maglia, si passa al controllo del modello e se non vengono riscontrati errori o incongruenze si può lanciare la simulazione, ma prima di partire con l'analisi agli elementi

finiti il file geometrico di tipo ASCII creato dal SMS deve essere convertito in formato binario che l'RMA2 è in grado di capire. Questo è fatto con un programma chiamato GFGEN. Fatta questa operazione si può lanciare la simulazione vera e propria, e i risultati riassunti nel file di out-put possono essere utilizzati per creare un filmato di immediata comprensibilità.

Le fasi salienti del lavoro svolto per lo stage e precedentemente esposte sono riassunte nelle figure sottostanti; nelle didascalie sono riportate le operazioni corrispondenti alle immagini mostrate:

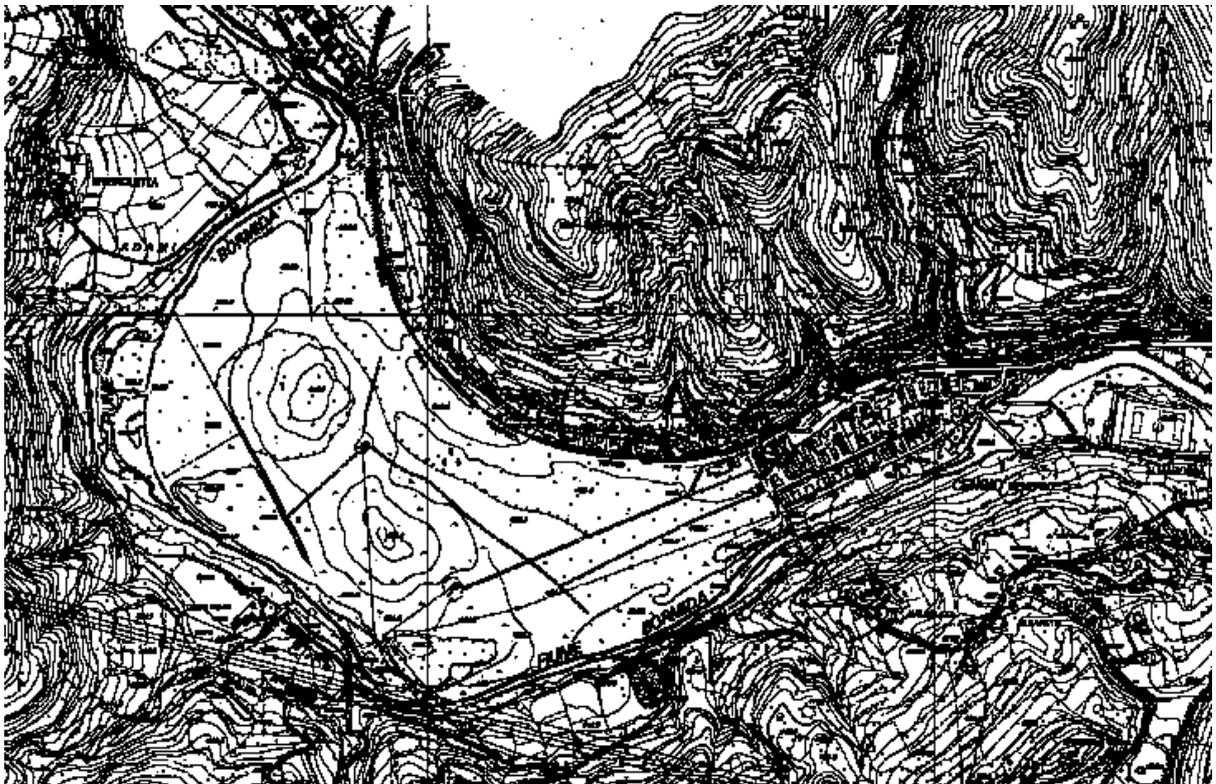


Fig. 4 Base cartografica di partenza

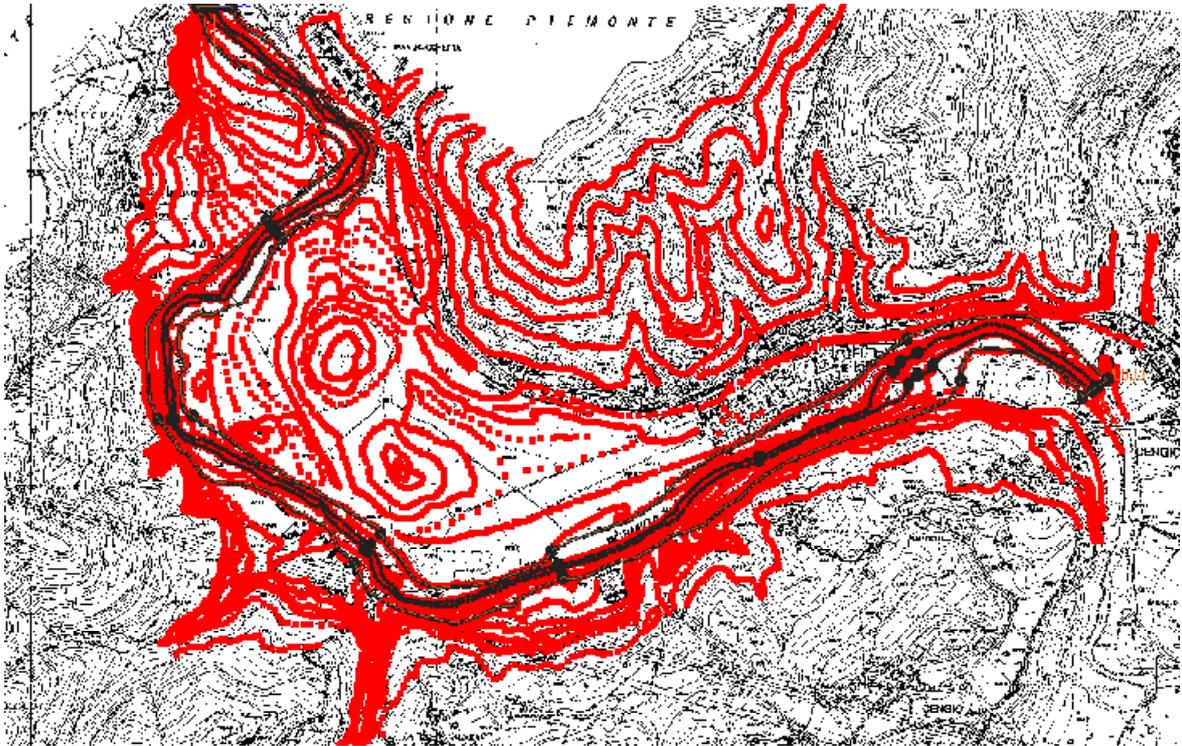


Fig. 5 Assegnazione delle quote e costruzione del contorno della maglia che costituirà il tratto di fiume da studiare.



Fig. 6 Costruzione della maglia e interpolazione con i dati altimetrici.



Fig.7 Assegnazione delle condizioni idrauliche al contorno e delle proprietà dei materiali.

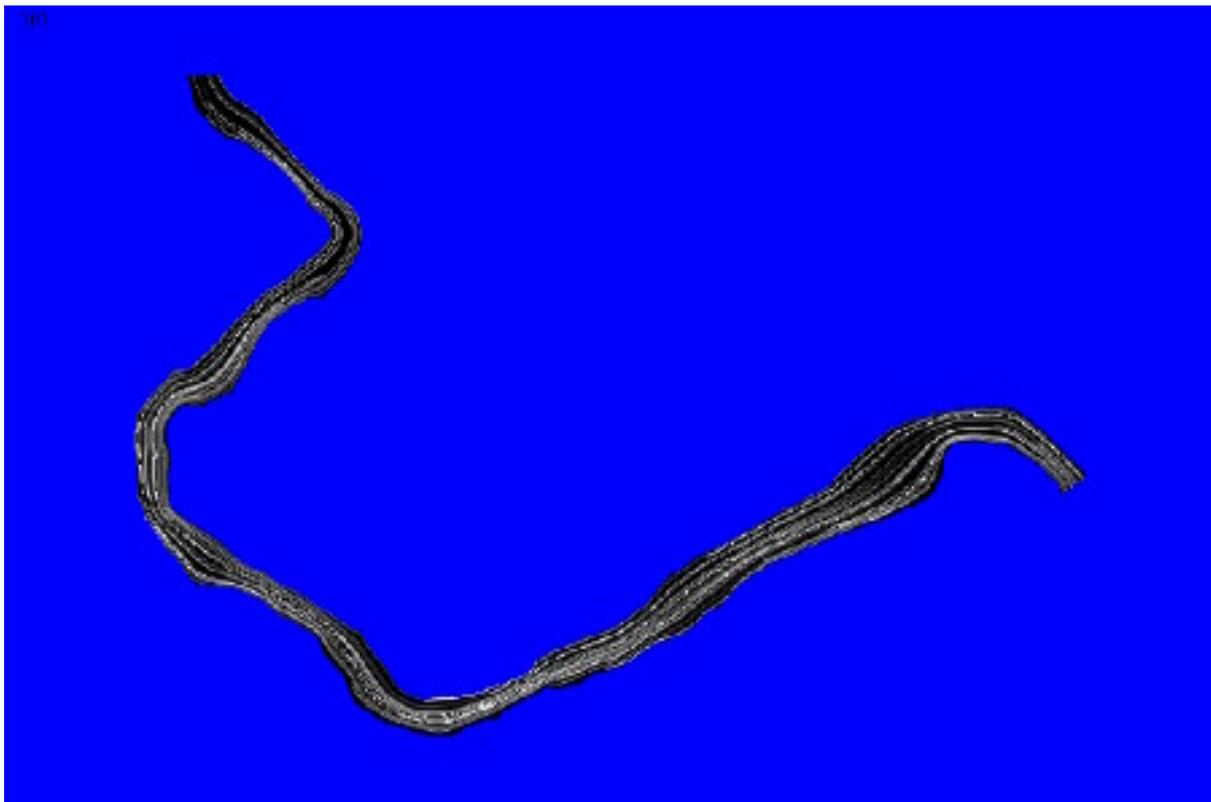


Fig.8 Simulazione idraulica.

Dopo aver eseguito la simulazione idraulica con il codice di calcolo RMA2, si può passare a studiare come si disperde un inquinante lungo l'asta fluviale; per fare questo si è utilizzato il codice di calcolo RMA4.

L'RMA4, modello per la qualità dell'acqua, è stato progettato per simulare i processi di avvezione e diffusione in un ambiente acquatico. Si può utilizzare questo modello per fare valutazioni sulle sostanze di tipo conservativo sia nel caso siano dissolte in acqua che in quello in cui più semplicemente rimangano in essa sospese. Il modello è anche usato per indagare sui processi fisici di migrazione e miscela delle sostanze non conservative nei bacini, fiumi, baie, estuari e zone costali. Il modello risulta molto utile per la valutazione dei processi base o per la definizione degli effetti causati dalle misure correttive messe in atto per far fronte all'inquinamento delle acque. Quindi l'RMA4, oltre ad indagare quali siano i processi fisici responsabili della distribuzione degli inquinanti, è anche un valido, veloce, ed economico mezzo per la valutazione degli effetti delle misure correttive di controllo.

La metodologia è ristretta ai sistemi monodimensionali e bidimensionali nei quali la distribuzione della concentrazione dell'inquinante è assunta uniforme lungo la verticale.

Per molte applicazioni, compresa quella oggetto di questo stage, questo codice di calcolo utilizza come modello idrodinamico quello proveniente dall'RMA2.

Il modello per la qualità delle acque può essere applicato per:

- Definire la distribuzione orizzontale della salinità.
- Seguire gli effetti sulla temperatura per l'influenza delle piante.
- Calcolare il tempo di residenza dei porti e dei bacini.
- Ottimizzare la posizione degli scarichi.
- Individuare le aree potenzialmente critiche per le dispersione di petrolio o la diffusione di altri inquinanti.
- Valutare l'estensione del pennacchio di torbidità.
- Monitorare oltre alla qualità dell'acqua i criteri con i quali si può cacciare e pescare.
- Definire le zone ove avviene la dispersione e la miscela.
- Determinare i confini dell'intrusione salina.

- Analisi di flusso.

Il programma integra le equazioni dei processi di trasporto e miscela degli inquinanti; la forma delle equazioni di trasporto è la seguente:

Equation 1

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h} \right) = 0$$

dove:

h = altezza idrometrica

c = concentrazione di un inquinante per un dato costituente

t = tempo

u, v = velocità nella direzione x e y

D_x, D_y = turbolenza coefficiente di dispersione

k = primo ordine di decadimento dell'inquinante

s = sorgente/pozzo del costituente

$R(c)$ = percentuale di pioggia/evaporazione

Descrizione dei termini:

1st term = deposito locale

2nd term = termine di avvezione (x)

3rd term = termine di avvezione (y)

4th term = dispersione (x)

5th term = dispersione (y)

6th term = sorgente locale di massa della sostanza

7th term = decadimento esponenziale

8th term = effetti della pioggia/evaporazione

L'equazione che è alla base dell'RMA4 è la stessa che utilizza il modello per il trasporto dei sedimenti (SED2D), la differenza risiede nel termine sorgente/pozzo che differisce per i due modelli.

L'equazione è risolta con il metodo degli elementi finiti, analogamente a quanto accadeva per l'RMA2, gli elementi possono essere monodimensionali o bidimensionali quadrilateri o triangolari, l'integrazione nello spazio è svolta come una integrazione Gaussiana e le derivate nel tempo sono sostituite da una approssimazione non lineare alle differenze finite.

Ovviamente per far partire la simulazione occorre specificare quanto tempo deve durare la simulazione, l'istante in cui farla partire, quello in cui terminarla ed il passo temporale da adottare. Inoltre è necessario assegnare le condizioni al contorno per l'inquinante preso in considerazione, per fare questo si seleziona la stringa alla quale corrisponde il punto di immissione dell'inquinante ed a questa si assegnerà per i vari valori di tempo la concentrazione di inquinante relativo.

Fatto questo resta da assegnare il coefficiente di diffusione sia lungo 'x' che lungo 'y', e si può partire con la simulazione.

Di seguito sono riportati le simulazioni ottenute con varie condizioni al contorno per i passi temporali più significativi.



Fig.9 Simulazione a tempo zero prima dell'immissione dell'inquinante.

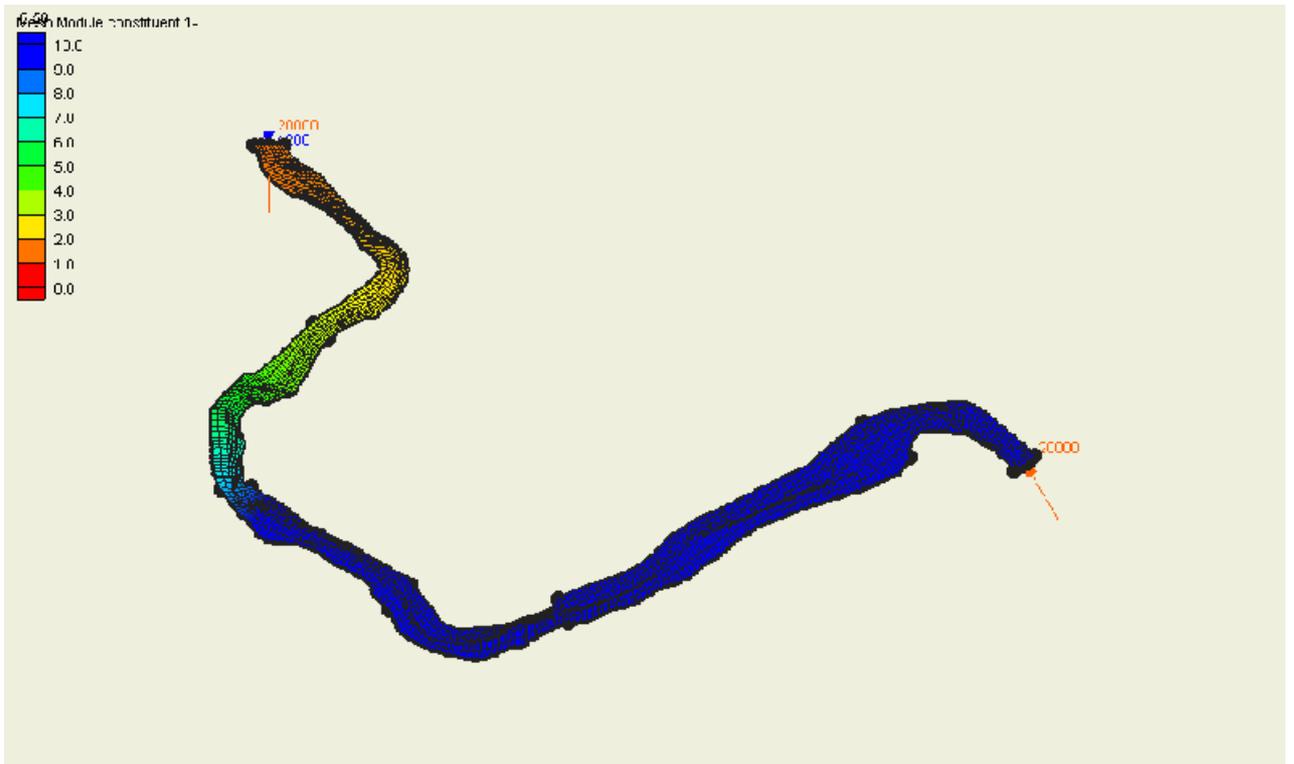


Fig.10 Simulazione ad un tempo successivo all'immissione dell'inquinante

Va ricordato che l'RMA4 tratta tutte le concentrazioni degli inquinanti come se fossero relative, infatti la concentrazione di out-put è relativa al numero iniziale da noi immesso, il programma analizza la quantità che dalla concentrazione iniziale si disperde, seguendola nel tempo e nello spazio.

5 Conclusioni

Per concludere si può affermare che l'RMA2 può essere utilizzato per valutare gli effetti di un evento critico, infatti oltre le altezze idrometriche fornisce anche le rispettive zone inondabili. Inoltre consentendo l' inserimento dei valori di pioggia ed evaporazione proprio nell'intervallo temporale della simulazione in cui realmente si verificano, è utilizzabile anche per fare previsioni in tempo reale di un eventuale evento critico. Da evidenziare che per l'utilizzo del software nella previsione e preannuncio di un eventuale evento di piena, al fine di redigere un piano di sicurezza, c'è la necessità di avere un bacino strumentato con idrometri e pluviometri a trasmissione diretta e in tempo reale delle misure.

Per quanto riguarda l'RMA4 si può affermare che oltre ad indagare quali siano i processi fisici responsabili della distribuzione degli inquinanti è anche un valido mezzo per la valutazione degli effetti delle misure correttive di controllo.

Si può quindi concludere che questi due strumenti insieme al SED 2D costituiscono dei validi veloci ed economici strumenti per la modellazione delle acque superficiali e per le relative simulazioni idrauliche, di dinamica degli inquinanti e per l'analisi dell'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua.

Bibliografia

- Beven K. (1989). "Changing ideas in Hydrology – The case of physically-based models", *Journal of Hydrology*, 105: 157-172.
- Bree T. (1978). "The stability of parameter estimation in the general linear model", *Journal of Hydrology*, 37: 47-66.
- Clarke R T. (1973). "A review of some mathematical models used in hydrology, with observation on their calibration and use", *Journal of Hydrology*, 19: 1-20.
- Cooper D. M. (1982). "Adaptive parameter estimation for non-linear hydrological models with general loss functions", *Journal of Hydrology*, 58: 29-45.
- Da Deppo L., Datei C. e Saladin P. (1998). *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Università degli Studi di Padova.
- Guang-Te W., Yu Y.-S., Kay W. (1987). "Improved Flood Routing by ARMA Modelling and the Kalman Filter Technique", *Journal of Hydrology*, 93: 175-190.
- Horritt M.S., Bates P.D. (2002). "Evaluation of 1D and 2D numerical models . for predicting river flood inundation", *Journal of Hydrology*, 268: 87-99.
- Moisello U (1998). *Idrologia tecnica*, La Goliardica Pavese.
- Environmental Modelling Research Laboratory of Brigham Young University (2002). *SMS 8.1 User's manual*

Siti visitati

www.library.tudelft.nl, 20/01/2005

www.bonificare.it, 20/11/2004

www.bossint.com, 10/11/2004