CITTA' DI CARINI

PROVINCIA DI PALERMO

STUDIO IDRAULICO DEL BACINO DEL VALLONE DELLA NOCE

IL CAPO RIPARTIZIONE VI URBANISTICA E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
Dott. Ing. Giuseppe Badalamenti

STRUTTURA INCARICATA

Studio tecnico Ing. Vittorio Cacioppo
Via Massimo D'Azeglio, 27/C
90143 - PALERMO

PROGETTAZIONE



Dott. Ing. Vittorio Cacioppo

COLLABORATORI

Dott. Michele Pagano
Dott.ssa Claudia Schirò

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA

ALL. N. 01

SCALA: -

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	AUTORIZZATO
1	GIU. 2014	AGGIORNAMENTO	V. Cacioppo	V. Cacioppo	V. Cacioppo
0	FEBBR. 2014	PRIMA EMISSIONE	V. Cacioppo	V. Cacioppo	V. Cacioppo

DATA: FEBBR. 2014

CODICE: A001.doc

INDICE

1. PREMESSA 2

2. OBIETTIVI E ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO 3

3. INDIVIDUAZIONE E DESCRIZIONE DEL SISTEMA IN STUDIO 6

4. PORTATE ADOTTATE 7

5. IL MODELLO IDRAULICO ADOTTATO PER LA DETERMINAZIONE DEI LIVELLI IDRICI IN ALVEO 8

6. METODOLOGIA ADOTTATA PER LA DETERMINAZIONE DELLA MAPPATURA E DEI TIRANTI 11

6.1 Premessa 11

6.2 Approccio Metodologico 12

6.3 Condizioni al contorno 14

6.4 Sezioni d'alveo 17

7. METODOLOGIA ADOTTATA PER LE VERIFICHE IDRAULICHE CON MODELLO MONODIMENSIONALE 19

8. DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 20

9. DESCRIZIONE DELLO STATO DI PROGETTO 22

10. CONCLUSIONI 24

11 ALLEGATI 26

ALLEGATO A - DESCRIZIONE TECNICA MIKE 11 28

ALLEGATO B - DESCRIZIONE TECNICA MIKE 21 38

1. PREMESSA

Con Determinazione del Capo Ripartizione VI Urbanistica e Pianificazione Territoriale n° 08 del 19.11.2012, il Comune di Carini ha dato incarico allo scrivente della redazione dello Studio Idraulico del bacino del Vallone della Noce a valle della Via Nazionale e della Progettazione Preliminare delle opere per la mitigazione del rischio esondazioni.

Le attività da svolgere sono regolate dal Disciplinare di Incarico sottoscritto in data 08.02.2013 tra lo scrivente e il Capo Ripartizione VI Urbanistica e Pianificazione Territoriale.

La necessità da parte del Comune di acquisire lo studio idraulico sopradetto, deriva dal fatto che nel Piano dell'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Oreto e dell'Area Territoriale tra il Bacino del Fiume Oreto e Punta Raisi, Piano approvato con Decreto del Presidente della Regione n° 91 del 27.03.2007 pubblicato sulla G.U.R.S. n° 26 del 08.06.2007, cui il bacino in argomento ricade, lungo il corso del Vallone della Noce sono individuate due zone, indicate rispettivamente con i codici 040-E01 e 040 - E02 a pericolosità idraulica elevata P3 e a rischio idraulico medio R2.

Delle predette zone una è individuata subito a valle della S.S. 113 in corrispondenza dell'abitato di Villagrazia di Carini (040-E01), mentre l'altra è individuata poco a monte della stessa S.S. 113 (040-E02); nell'allegato 2) allo studio che la presente relazione accompagna, sono riportati gli stralci planimetrici in cui sono chiaramente individuate le due zone in argomento.

Poiché in tale zone sono state avanzate da parte di privati istanze di concessione edilizia per la realizzazione di edifici residenziali accompagnati da relazioni geologiche di compatibilità idraulica, le stesse istanze sono state trasmesse all'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente per il rilascio del parere di competenza.

L'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, con nota Prot. n. 58577 del 13.09.2011, ha dato parere negativo su alcune di tali istanze, in quanto gli studi idrogeologico-idraulici allegati, non erano stati redatti secondo la metodologia e le indicazioni riportate nell'Appendice "B" della Relazione Generale del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia.

Nella medesima nota, l'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente ha altresì raccomandato che: *"omissis.....visto l'elevato numero di richieste di parere di compatibilità, relative al bacino Vallone della Noce, inviate tramite codesto Comune, e considerato che gli studi idrologici-idraulici contengono risultati e conclusioni spesso diverse e contrastanti gli uni dagli altri, si ritiene che le valutazioni di carattere idraulico non possono essere affrontate puntualmente e per singolo lotto interessato, ma dovrà essere l'Ente locale, ai sensi dell'art. 11, comma 5 delle norme di attuazione del P.A.I., a predisporre e trasmettere all'A.R.T.A. uno studio di compatibilità idraulica sulla base degli indirizzi contenuti nell'Appendice "B" della*

Relazione Generale del PAI; per quanto sopra e in considerazione del fatto che Codesto Comune ha avanzato la proposta di aggiornamento del P.A.I. nel 2004, si invita lo stesso a produrre lo studio idraulico del bacino del Vallone della Noce e a relazionare in merito all'adeguamento del PRG; conseguentemente le pratiche in argomento saranno valutate una volta acquisito il predetto studio.....omissis".

Alla luce di quanto sopra rappresentato, il Comune di Carini ha ritenuto indispensabile procedere all'acquisizione di uno studio idraulico del bacino del Vallone della Noce, onde avere uno strumento che possa dare direttive su come operare nelle citate aree a rischio idrogeologico e consentire all'A.R.T.A. di esprimere il parere di competenza sulle istanze di concessione edilizia presentate.

Successivamente, a seguito di incontro del Professionista Incaricato, con i tecnici dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, si è chiarito che lo studio doveva in realtà riguardare l'intero bacino del Vallone della Noce, in ottemperanza alla predetta nota dell'Assessorato Prot. n. 58577 del 13.09.2011.

Conseguentemente con Determinazione del Capo Ripartizione VI Urbanistica e Pianificazione Territoriale n° 08 del 30.12.2013, è stato modificato l'incarico originario, estendendolo allo studio dell'intero bacino del Vallone della Noce.

La presente relazione accompagna pertanto e ne fa parte integrante con gli altri elaborati, lo Studio Idraulico del Vallone della Noce esteso in tutto il suo sviluppo.

2. OBIETTIVI E ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello Studio in argomento, alla luce di quanto sopra esposto, è quello di potere inoltrare al competente Assessorato, in ottemperanza alla Nota Prot. n. 58577 del 13.09.2011 dello stesso, uno Studio redatto secondo i criteri richiesti e che consentirebbe al Comune di Carini di potere rilasciare i relativi provvedimenti di autorizzazione e/o in sanatoria avanzate dai cittadini e ricadenti nelle aree a rischio come individuate dal P.A.I.

Lo studio in questione si configura pertanto come uno studio di compatibilità idraulica redatto sulla base degli indirizzi contenuti nell'Appendice "B" della Relazione Generale del P.A.I.

Inoltre, poiché scopo dell'Amministrazione è quello della completa messa in sicurezza del Vallone della Noce, lo studio si configura anche come uno studio idraulico volto alla determinazione dei livelli di massima piena in alveo per i tempi di ritorno considerati, allo scopo di verificare la sufficienza idraulica del Vallone stesso e individuare di conseguenza gli interventi necessari da programmare e realizzare per la messa in sicurezza dello stesso Vallone.

In riferimento a quanto indicato nell'Appendice "B" della Relazione Generale del P.A.I., in merito ai contenuti tecnici dello studio di compatibilità idraulica, lo stesso dovrà contenere il

censimento ed il rilievo delle opere e del profilo dell'alveo, sul quale basare le verifiche idrauliche per le diverse portate, valutate quest'ultime considerando i tempi di ritorno che hanno determinato il livello di pericolosità individuato nel P.A.I. (50, 100 e 300 anni).

Sulla base di tali dati e delle conoscenze topografiche delle aree limitrofe del corso d'acqua, si determinano livelli idrici attesi in corrispondenza delle portate di piena da esaminare.

Per la determinazione di quanto sopra e in relazione della complessità del fenomeno da studiare e del grado di approfondimento necessario, possono essere utilizzati schemi di moto permanente monodimensionale, moto vario monodimensionale o quasi bidimensionale, moto vario bidimensionale.

Con successiva Nota Prot. n° 16817 del 10.04.2014, l'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, ha meglio specificato i contenuti che lo studio in questione deve avere; in particolare nello stesso dovranno essere esplicati i contenuti che consentano di:

a) verificare i dissesti idraulici che interessano l'area;

b) definire e descrivere le interferenze tra le aree a pericolosità di inondazione e le destinazioni, le trasformazioni d'uso e le opere previste o presenti.

In particolare, per quanto riguarda il punto a) dovranno essere valutati nelle aree a pericolosità idraulica, come individuati nel P.A.I., i tiranti idrici delle aree allagate per ciascuno dei tempi di ritorno adottati dal P.A.I. (50, 100 e 300 anni), producendo le mappe dei tiranti idrici.

Per quanto riguarda il punto b), dovranno essere valutate le interferenze tra i tiranti idrici calcolati e gli immobili, le destinazioni, le trasformazioni d'uso, le opere previste e presenti o presenti a partire da quelle in corso di trattazione per cui il Comune ha già richiesto all'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente il parere di compatibilità idraulica.

A tale proposito si precisa che sulla base dell'incarico conferito, chi scrive ha sviluppato il precedente punto a), mentre per il punto b) dovranno essere i tecnici incaricati dai singoli privati della valutazione di compatibilità idraulica ad effettuare, sulla base della mappatura dei tiranti, le valutazioni di compatibilità e delle eventuali misure di salvaguardia e/o di flood proofing (pag. 59 Relazione Generale del P.A.I.), come peraltro comunicato da chi scrive con nota Prot. n. 07/2014 del 27/05/2014.

L'articolazione dello studio in argomento è quindi scaturito dalle indicazioni soprariportate onde pervenire in primo luogo alla determinazione, attraverso l'applicazione di un idoneo modello di calcolo idraulico bidimensionale, del livello idrico e delle velocità in condizioni di piena sia in alveo che nelle aree inondabili e alla determinazione della mappatura dei tiranti idrici e delle velocità attesi all'interno delle aree a pericolosità come individuata nel P.A.I per ciascuno dei tempi di ritorno prescritti (50, 100 e 300 anni) e passando quindi alla individuazione di tutte quelle opere di adeguamento necessarie per garantire la sufficienza

idraulica delle sezioni con conseguente eliminazione della pericolosità e del conseguente rischio idraulico.

Entrando nella articolazione dello studio proposto, in primo luogo si è proceduto, sulla base della cartografia disponibile in scala 1:2000, ad un rilievo dettagliato del corso d'acqua e delle principali opere interferenti, nonché di tutte quelle infrastrutture esistenti all'interno delle aree a pericolosità P3.

Quindi sulla scorta delle portate adottate e applicando un idoneo modello idraulico monodimensionale, si è pervenuti alla determinazione dei livelli idrici nelle sezioni individuate per i diversi tempi di ritorno considerati pari rispettivamente a Tr= 50 anni, Tr= 100 anni e Tr= 300 anni.

L'applicazione del predetto modello monodimensionale ha avuto lo scopo di individuare, lungo l'intero corso d'acqua in argomento, ed in ottemperanza all'incarico ricevuto, i livelli idrici in corrispondenza delle portate di piena per i tempi di ritorno di cui sopra (50, 100 e 300 anni), onde verificare la sufficienza idraulica dello stesso ed individuare quindi le opere necessarie per al messa in sicurezza del vallone stesso, consentendo quindi all'Amministrazione di programmare la realizzazione degli interventi necessari.

Nei tratti del Vallone dove si sono evidenziati fenomeni di esondazione, si è proceduto ad una modifica della sezione e con le medesime portate, e sempre con l'applicazione di idoneo modello idraulico monodimensionale, si è verificata la sufficienza idraulica dei tratti di intervento.

Inoltre, allo scopo di ottemperare a quanto richiesto dall'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente con la verifica dei dissesti che interessano le aree a pericolosità P3 individuate nel P.A.I., si è proceduto a determinare le mappe dei tiranti idrici all'interno delle predette aree a pericolosità P3.

Come meglio descritto in seguito, per la determinazione della predetta mappatura, è stata effettuata una analisi idraulica supportata dall'implementazione di un modello numerico ad alta tecnologia e risoluzione mediante l'applicazione del codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI; tale modello combina dinamicamente l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale.

Nel seguito, dopo avere descritto il sistema in studio anche a seguito del rilievo effettuato, si passerà alla illustrazione delle portate adottate per la effettuazione delle verifiche, nonché alla descrizione del modello idraulico adottato.

Quindi si passeranno ad analizzare le verifiche effettuate ante operam e la metodologia seguita per la determinazione delle mappe dei tiranti idrici all'interno delle aree a pericolosità P3, e quindi individuati i tratti di Vallone dove effettuare interventi di adeguamento delle sezioni, si passerà ad analizzare le verifiche post operam.

Sintetizzando quanto sopra esposto, lo studio si articolerà secondo le seguenti fasi:

- definizione della configurazione del sistema;

- ricostruzione della geometria dell'alveo e delle sezioni trasversali, mediante rilievo sulla base della cartografia disponibile, nonché sulla scorta di dettagliati rilievi di campagna;
- calcolo dei livelli di moto permanente in alveo con l'applicazione di idoneo modello idraulico monodimensionale allo scopo di individuare i tratti del vallone insufficienti al convogliamento delle portate di piena;
- determinazione delle mappe dei tiranti idrici per ciascun tempo di ritorno all'interno delle aree a pericolosità P3, attraverso l'utilizzo di idonea modellazione bidimensionale con la individuazione dei tiranti e delle velocità per le portate e i tempi di ritorno considerati sia in alveo che nelle aree inondabili;
- individuazione dei tratti di torrente da adeguare ai fini di garantire la sufficienza idraulica;
- ipotesi di adeguamento delle sezioni del Vallone;
- verifica della sufficienza idraulica del Vallone con gli interventi ipotizzati, attraverso il calcolo dei livelli di moto permanente in alveo con l'applicazione di idoneo modello idraulico monodimensionale.

3. INDIVIDUAZIONE E DESCRIZIONE DEL SISTEMA IN STUDIO

Il Vallone della Noce nasce a quota 188 m s.l.m. a monte del centro abitato di Carini; esso presenta una portata media annua scarsa ma che può aumentare in occasione di piogge intense ed uno sviluppo planimetrico, fino allo sbocco a mare, di circa ml. 4.280,00.

Il corso d'acqua prosegue dal centro abitato di Carini incanalato verso valle attraversando aree caratterizzate da una modesta urbanizzazione.

Da quota 75 m s.l.m. costeggia la strada comunale denominata S. Anna, attraversando un territorio intensamente urbanizzato fino a circa 100 m dopo il passaggio a livello presente su tale via di comunicazione.

Da tale punto prosegue incanalato fino alla sezione di chiusura presso Casa Marzio individuata nel P.A.I.; dopo tale sezione, il canale prosegue attraversando il centro abitato di Villa Grazia fino a raggiungere Baglio Vernagallo in corrispondenza del quale è riscontrata una sezione critica.

In corrispondenza di tale sezione di chiusura il bacino presenta una estensione di circa 3,4 kmq; da questa sezione, il V.ne della Noce prosegue fino al suo sbocco a mare, sempre incanalato tranne che per brevi tratti in aperta campagna.

E' stato effettuato un dettagliato rilievo del corso d'acqua in esame, sia sulla scorta della cartografia disponibile sia attraverso un rilievo di campagna.

In particolare sono state rilevate alcune tra le più significative sezioni dell'alveo, nonché gli attraversamenti presenti; sono stati inoltre rilevati le dimensioni degli scatolari di attraversamento ed in particolare dello scatolare di attraversamento della S.S. 113 in corrispondenza dell'abitato di Villagrazia di Carini.

Gli elaborati dello stato di fatto allegati al presente studio, riportano in dettaglio il rilievo effettuato.

Dalle planimetrie allegate, si desume che l'area a Pericolosità P3 e Rischio R2 individuata nel P.A.I. con il codice 040-E01 è quella compresa tra la Sez. 8 e la Sez. 4; mentre quella, sempre a Pericolosità P3 e Rischio R2 individuata nel P.A.I. con il codice 040-E02 è quella compresa tra la Sez. 20 e la Sez. 12.

Allo scopo inoltre di potere procedere con la mappatura dei tiranti all'interno delle aree a pericolosità, sono state rilevate in dettaglio le sezioni insistenti nelle medesime aree, rilevando le dimensioni dei più significativi manufatti esistenti (muri, strade, ecc.).

4. PORTATE ADOTTATE

Quali portate poste a base delle simulazioni e delle verifiche effettuate con i modelli idraulici proposti, sono state utilizzate le massime portate di piena per i prefissati tempi di ritorno, indicate nel P.A.I. – Bacino Idrografico del F. Oreto (039) Area Territoriale tra il bacino del F. Oreto e Punta Raisi (040) approvato con Decreto del Presidente della Regione n° 91 del 27.03.2007 pubblicato sulla G.U.R.S. n° 26 del 08.06.2007.

Si precisa che tali portate sono le medesime di quelle proposte nello studio relativo all'"Analisi dei dissesti ed individuazione delle aree soggette a rischio idrogeologico nell'ambito del territorio comunale di Carini" redatto per conto del Comune di Carini e finalizzato all'aggiornamento del P.A.I. relativamente al territorio comunale di Carini, dalla Dott.ssa Rita Russo nel Novembre 2003.

Rimandando per i dettagli al predetto studio, si ricorda qui brevemente che le portate sono state determinate con il metodo razionale.

Per la definizione del regime pluviometrico è stato fatto riferimento ai dati della stazione pluviometrica di Isola delle Femmine.

Tali dati sono stati sottoposti ad analisi statistica secondo il metodo di Gumbel.

I valori di portata così determinati, sintetizzati nella tabella successiva, sono stati presi a riferimento per le simulazioni svolte nel presente lavoro.

Si precisa che i valori, così come riportati nel P.A.I., fanno riferimento alle due sezioni individuate come sezioni di verifica di cui la prima è quella in corrispondenza di Case Marzio (Sezione n. 19 del rilievo effettuato), la seconda è quella in corrispondenza del Baglio Vernagallo (Sezione n. 6 del rilievo effettuato).

Sezioni	Q Tr = 50 anni	Q Tr = 100 anni	Q Tr = 300 anni
Case Marzio	13,77 mc/s	15,29 mc/s	17,68 mc/s
Baglio Vernagallo	15,66 mc/s	17,38 mc/s	20,11 mc/s

5. IL MODELLO IDRAULICO ADOTTATO PER LA DETERMINAZIONE DEI LIVELLI IDRICI IN ALVEO

Per la determinazione dei livelli idrici in alveo per i tempi di ritorno considerati, finalizzata alla verifica della sufficienza idraulica del Vallone della Noce e alla conseguente programmazione degli eventuali interventi da programmare e realizzare per la messa in sicurezza dello stesso, è stato utilizzato un modello monodimensionale denominato HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto stazionario e non stazionario.

Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente ecc.

Il programma HEC-RAS permette di determinare l'andamento dei livelli idrici di un corso d'acqua qualora siano state assegnate le condizioni geometriche ed idrologiche dell'asta fluviale considerata.

Nel modello, come quote arginali, sono state assunte quelle dei punti più alti rilevati in sponda sinistra ed in sponda destra compatibilmente con le quote effettive delle arginature presenti. Pertanto, laddove la planimetria o le sezioni hanno rivelato la presenza di muri, parapetti o simili ubicati all'interno della distanza degli argini o in corrispondenza degli stessi, si è assunta la quota di dette strutture nel caso essa fosse superiore a quella degli argini.

In prossimità dei ponti, quando questi erano dotati di spallette laterali, si è assunta la quota superiore di queste come altezza arginale. Nei casi in cui le spallette non erano presenti sono state alzate, artificialmente, fino all'altezza dei parapetti del ponte. Tale provvedimento è stato reso necessario dalle esigenze computazionali del programma di calcolo HEC-RAS le quali prevedono che l'impalcato del ponte non si trovi mai sopra il livello del terreno (le spallette aggiunte vengono infatti imputate come profilo del terreno);tale modifica in ogni caso risulta in favore di sicurezza.

Il programma risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione nelle seguenti ipotesi :

- corrente stazionaria;
- moto gradualmente variato;
- flusso monodimensionale.

HEC-RAS simula il moto permanente gradualmente variato (o lineare) in canali aperti con contorni fissi.

L'equazione di base è quella di continuità dell'energia:

$$Z_1 + Y_1 + a_1V^2/2g = Z_2 + Y_2 + a_2V^2/2g + he$$

dove:

Z è la quota del fondo del canale alle sezione 1 e 2;

Y è l'altezza dell'acqua in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;

a_1 è un coefficiente che tiene conto della distribuzione non uniforme della velocità dell'acqua;

V è la velocità media dell'acqua;

g è l'accelerazione di gravità;

he è la perdita di carico tra le sezioni 1 e 2 costituita da un contributo dovuto alle perdite distribuite e una parte legata alle perdite concentrate.

Il metodo di soluzione adottato da HEC-RAS per l'equazione di continuità dell'energia applicata al moto permanente gradualmente variato richiede l'assunzione che la perdita di carico in una sezione sia la stessa che si avrebbe in moto uniforme a parità di sezione e velocità dell'acqua.

HEC-RAS usa la formula del moto uniforme di Manning per valutare le perdite di carico:

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot i_f^{1/2}$$

dove:

V (m/s) è la velocità media dell'acqua nella sezione,

n è la scabrezza idraulica secondo Manning,

R (m) è il raggio idraulico della sezione bagnata,

i_f è la pendenza della linea piezometrica dovuta alle perdite di carico ripartite lungo l'alveo.

Combinando le due equazioni sopra riportate è possibile determinare il profilo idrico della corrente una volta note la geometria, le scabrezze dell'alveo e le condizioni del moto nella sezione in cui deve iniziare il calcolo del profilo. E' necessario, infatti, specificare lo stato iniziale della corrente (lenta o veloce) poiché ad una stessa energia specifica (carico cinetico più altezza idrica) sono associabili due differenti altezze del pelo libero nella sezione considerata.

La sezione idraulica del corso d'acqua viene rappresentata per punti. All'interno di essa si distinguono due zone, ovvero:

- Canale principale
- Golena sinistra e destra

In ciascun ambito è possibile definire diverse scabrezze delle pareti o del fondo. E' utile fornire valori differenti per meglio simulare il deflusso nell'alveo in condizioni di magra o di piena.

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una sezione è necessario conoscere, in alcune delle sezioni del tratto in esame, una delle seguenti informazioni di input:

- eventi di piena validamente descritti per i quali si abbia un'ampia informazione idrologica ed idraulica;
- le scale di deflusso;
- gli idrogrammi di piena ;
- il livello idrometrico in condizioni di moto uniforme (definito tramite la pendenza dell'alveo e le caratteristiche geometriche ed idrauliche della sezione) in una sezione ubicata sufficientemente distante dal tratto in esame.

A tal fine, se in un certo tratto la corrente è veloce, dovremo fornire come input la portata e le condizioni al contorno nella sezione di monte, viceversa se la corrente è lenta le condizioni dovranno essere assegnate alla sezione di valle.

Nel presente caso, essendo l' asta in esame di modesta importanza, non sono disponibili né eventi di piena validamente descritti né scale di deflusso né, tantomeno, idrogrammi di piena. Sono stati assegnati i valori della pendenza media di monte e di valle.

HEC- RAS utilizza lo "standard step method" per risolvere l'equazione dell'energia in alvei a sezione variabile.

Il programma determina l'altezza dell'acqua per sezioni successive secondo la seguente procedura:

1. la quota dell'acqua e la portata sono note nella sezione di inizio del calcolo (sez.1);

2. si calcola l'energia della corrente (sez.1) sulla base dei dati 1) e della geometria della sezione;
3. la geometria della sezione successiva (sez. 2) è nota insieme alla distanza tra la prima e la seconda sezione;
4. si assume una quota dell'acqua nella sez. 2, se ne calcola il raggio idraulico e la sezione liquida sulla base della geometria della sezione stessa. Si determina la pendenza piezometrica sulla base della portata nota e delle caratteristiche geometriche calcolate;
5. si calcola la perdita di carico distribuita sulla base del valore medio tra le due sezioni delle pendenze piezometriche e della lunghezza del tratto;
6. si calcola il carico cinetico ($aV^2/2g$) nella sez. 2;
7. si calcolano le perdite dovute alla contrazione ed allargamento dell'alveo sulla base del carico cinetico (6);
8. si calcola la variazione della quota dell'acqua fra le due sezioni come somma del carico cinetico e delle perdite di carico;
9. si calcola la quota del livello idrico nella sezione 2 come somma del livello idrico nella sez. 1 e della variazione di quota calcolata in 8);
10. si calcola l'errore tra il livello d'acqua nella sezione 2 assunto inizialmente (4) e quello calcolato in (9);
11. se l'errore è accettabile (meno di 1 cm) la procedura è ripetuta per le sezioni successive dell'alveo, altrimenti è ripetuta per le stesse due sezioni ma con una nuova stima iniziale dell'altezza d'acqua nella sez. 2 (punto 4).

I risultati dell'elaborazione sono raccolti nelle sezioni trasversali schematiche di calcolo allegate in altro fascicolo, mentre le immagini dell'andamento del deflusso lungo il corso d'acqua nel tratto in esame e nelle sezioni più rappresentative, sono riportati negli elaborati grafici ed in particolare nel profilo longitudinale e nelle sezioni trasversali.

6. METODOLOGIA ADOTTATA PER DETERMINAZIONE DELLA MAPPATURA DEI TIRANTI

6.1 PREMESSA

Come sopra esposto, allo scopo di ottemperare a quanto richiesto dall'Assessorato Territorio ed Ambiente, il predetto studio si configura anche come uno studio di compatibilità idraulica e quindi con i contenuti nell'Appendice "B" della Relazione Generale del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia, per la verifica dei dissesti idraulici che interessano le aree a pericolosità P3 con la determinazione della mappa dei tiranti idrici nelle predette aree e per i tempi di ritorno considerati (50,100 e 300 anni).

La conseguente modellazione idraulica è stata estesa agli ultimi 3 km del Vallone della Noce a partire dal rilevato della ferrovia Trapani – Palermo fino alla confluenza a mare ed ha incluso sia l'alveo inciso del Vallone che le aree perifluviali su entrambe le sponde. Lo studio è stato condotto sulla base dello stato attuale del Rio.

Il comportamento idraulico del rio Vallone della Noce è stato indagato in caso di eventi di piena con tempo di ritorno di 50, 100 e 300 anni, ricostruiti a partire dalle portate al colmo desunte del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I) del Bacino Idrografico del Fiume Oreto (039) e dall'Area Territoriale tra il bacino del Fiume Oreto e Punta Raisi (040).

L'analisi idrologica è stata finalizzata alla sola determinazione dell'idrogramma (e quindi dei volumi di piena) mantenendo invariata la portata al colmo definita per differente tempo di ritorno dal Piano di Bacino.

6.2 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi idraulica è stata supportata dall'implementazione di un modello numerico ad alta tecnologia e risoluzione, mediante l'applicazione del codice di calcolo **MIKE FLOOD** del DHI. Tale modello combina dinamicamente l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale.

Nel caso in esame, il rio Vallone della Noce è stato modellato con approccio monodimensionale, attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali disponibili, comprensive delle geometrie delle tombinature interferenti con il deflusso di piena.

La configurazione geometrica adottata è relativa al rilievo topografico di dettaglio effettuato.

L'alveo del rio è stato quindi collegato dinamicamente alla piana inondabile, sia in sponda destra che in sponda sinistra nel rispetto delle reali quote arginali. L'area è stata rappresentata mediante il modello del terreno a celle quadrate di lato 2x2 m derivante dal rilievo con tecnologia Laser-scanning LiDAR.

Il modello digitale del terreno è stato completato dall'inserimento degli edifici e di tutte le strutture contenitive in grado di condizionare la propagazione della piena stessa sul territorio. La mappatura dei rilievi arginali rilevanti per il deflusso è scaturito sempre dal dettagliato rilievo effettuato.

Il codice di calcolo MIKE Flood è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE 11 e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica dei due codici si vedano rispettivamente gli allegati A e B alla presente relazione).

MIKE Flood consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE 11 e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: **MIKE 11** per la simulazione monodimensionale del rio Vallone della Noce con rappresentazione di tutte le tombinature presenti, con geometria definita mediante le sezioni trasversali di rilievo disponibili, **MIKE 21** per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso coperte dal modello digitale del terreno.

Lo studio modellistico è stato eseguito sui due tratti distinti del Rio Vallone della Noce che ricadono all'interno delle due aree potenzialmente inondabili perimetrate dal Piano di Bacino. Le aree individuate sono comprese, rispettivamente, tra la linea ferroviaria e la SS113 (040-E02) e tra località Baglio Vernagallo e lo sbocco a mare (040-E01); nella sottostante figura 6.1 sono riportate le predette aree come individuate e perimetrate nel P.A.I.

Figura 6-1 Aree potenzialmente inondabili a pericolosità P3 individuate dal P.A.I.



Così come riportato dalla relazione del Piano di Bacino, il tratto terminale del Rio Vallone della Noce "*non è capace di convogliare le portate al colmo di piena con tempo di ritorno superiore a 20 anni senza generare fenomeni di esondazione*".

La scelta di suddividere l'analisi in due tratti consente di valutare in modo distinto la pericolosità idraulica sulle due aree, indipendentemente dalla capacità di smaltimento del canale nel suo tratto di monte.

Ogni tratto è pertanto alimentato da un'idrogramma di portata calcolato per i diversi tempi di ritorno in riferimento all'intero bacino contribuente sulla sua sezione critica in testata al tratto d'asta studiato e non laminato dagli effetti di esondazione a monte: questo approccio è ritenuto molto cautelativo e idoneo al contesto di applicazione ovvero allo scopo di determinazione della pericolosità idraulica del sito.

6.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

Come condizione al contorno di monte sono stati applicati gli idrogrammi di portata per i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni calcolati con un modello idrologico afflussi-deflussi a partire dei valori dei colmi di piena e dalle caratteristiche di permeabilità del bacino, delle condizioni di imbibizione dei suoli e del tempo di corrivazione.

L'analisi idrologica è stata condotta in riferimento alle portate al colmo di piena per i diversi tempi di ritorno in corrispondenza delle due sezioni di chiusura critiche individuate dal Piano di Bacino, la prima ubicata più a monte in località Villa Grazia di Carini, in prossimità di Case Marzio, la seconda ubicata più a valle in prossimità di Baglio Vernagallo.

Tabella 6-1 Portata al colmo di piena per i diversi tempi di ritorno

Bacino	50 (m3/s)	100 (m3/s)	300 (m3/s)
Rio Vallone della Noce a Villa Grazia di Carini	13.77	15.29	17.68
Rio Vallone della Noce a Baglio Vernagallo	15.66	17.38	20.11

Il bacino idrografico principale del Rio Vallone della Noce è situato nel territorio amministrativo del comune di Carini.

Lo studio delle principali caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino in esame è stato effettuato sulle cartografie in scala 1:25.000 e 1:10.000 disponibili; I parametri

morfologici definiti sono la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale, in riferimento ad entrambe le sezioni di chiusura.

Tabella 6-2 - Caratteristiche fisiografiche del bacino in esame

Bacino	S (km^2)	L (km)	i (%)
Rio Vallone della Noce a Villa Grazia di Carini	2.4	2.5	0.060
Rio Vallone della Noce a Baglio Vernagallo	3.4	4.2	0.045

Il parametro di permeabilità CN per l'intero bacino del Rio Vallone della Noce è stato assunto pari a 80 ed sono state assunte condizioni medie di imbibizione del terreno (AMC II).

Ai fini del calcolo del tempo di corrivazione del bacino, richiesto in input dal modello idrologico, sono state inizialmente adottate differenti formulazioni disponibili in letteratura, che consentono di definire tale parametro a partire dalle caratteristiche fisiografiche del bacino imbrifero e del corso d'acqua.

Vengono di seguito esposte le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per i metodi di Pasini e Ventura, le cui formule sperimentali sono state sviluppate in riferimento a bacini di dimensioni piccolo – medie, fino a 40 Km^2.

Formula di Ventura: $t_c = 0{,}1272\sqrt{\frac{S}{i}}$

Formula di Pasini: $t_c = 0{,}108\frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i}}$

I valori ottenuti per il bacino del rio Vallone della Noce da tali formulazioni sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 6-3 Calcolo del tempo di corrivazione secondo differenti formulazioni da letteratura.

Bacino	Ventura (h)	Pasini (h)
Rio Vallone della Noce a Case Marzio	0.8	1.0
Rio Vallone della Noce a Baglio Vernagallo	0.8	1.1

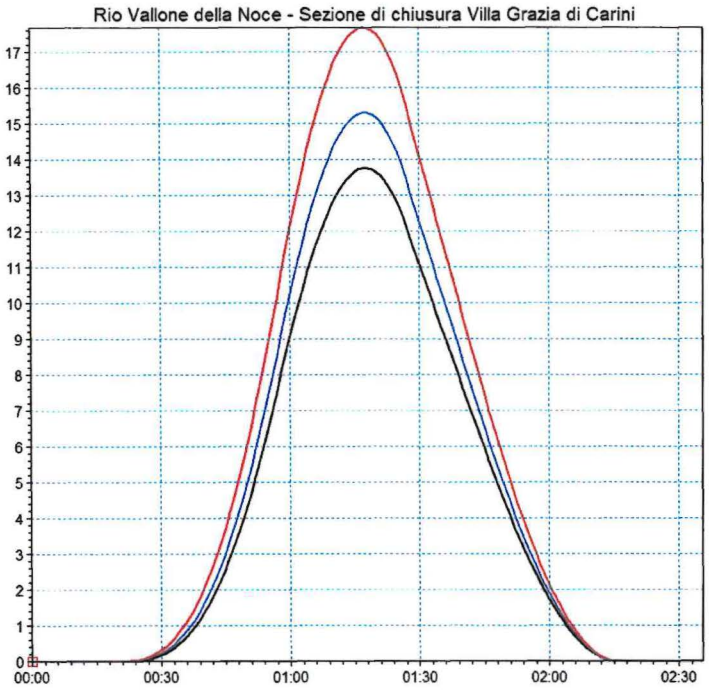
Dati i campi di validità delle formule e la coerenza dei risultati ottenuti, si ritiene adeguato considerare un tempo di corrivazione t_c pari a 0.8 ore per il bacino chiuso a Case Marzio e di 1.1 ore per la sezione di chiusura di Baglio Vernagallo.

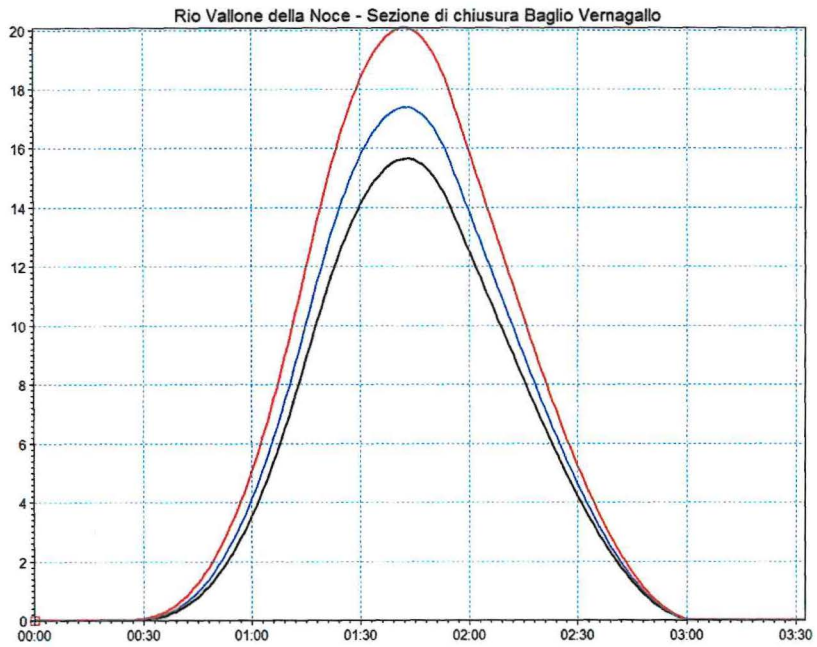
Ultimo dato utile per il modello afflussi deflussi utilizzato è l'intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo di piena, definito tempo di ritardo t_{lag}, che risulta, secondo il Soil Conservation Service statunitense, pari a 0.6 volte il tempo di corrivazione, ovvero per il rio Vallone della Noce pari a 0.48 per la stazione di monte e 0.66 per quella a valle.

Si ricorda, come già anticipato in premessa, che la presente analisi idrologica è stata finalizzata non alla definizione di una portata di picco, che è stata assunta pari alla portata per differente tempo di ritorno definita nel PdB vigente, bensì alla determinazione delle corretta forma dell'idrogramma di piena e quindi del relativo volume.

Nella sottostante Figura 6.2 sono riportati gli idrogrammi di piena in corrispondenza delle due sezioni considerate e per i tempi di ritorno esaminati (50, 100 e 300 anni).

Figura 6-2 Idrogrammi di piena definiti alle sezioni di chiusura di Case Marzio e Baglio Vernagallo.





Come condizione di valle del primo tratto d'asta in esame è stata applicata la scala di deflusso calcolata in moto uniforme alla sezione di imbocco della tombinatura sottostante via Sant'Anna (Sezione 12).

La condizione al contorno di valle del tratto vallivo è applicata sufficientemente lontano rispetto all'ultima sezione di rilievo in modo da non influenzare i risultati del modello numerico. Tale condizione considera cautelativamente il sovralzo dovuto a moto ondoso, pari a 1 m s.m.

6.4 SEZIONI D'ALVEO

L'alveo del rio Vallone della Noce è stato schematizzato mediante modellazione numerica monodimensionale la quale riproduce la geometria del corso d'acqua attraverso l'inserimento di una serie di sezioni trasversali.

La configurazione geometrica adottata è relativa al rilievo topografico di dettaglio eseguito; nelle figure seguenti sono riportate gli stralci planimetrici con l'indicazione delle sezioni utilizzate.

I valori di scabrezza introdotti nei modelli sono stati definiti facendo riferimento ai dati di letteratura e all'esperienza acquisita nel campo della modellistica numerica idraulica. Con riferimento alle caratteristiche morfologiche e allo stato di manutenzione del rio sono stati adottati lungo l'asta coefficienti di scabrezza di Manning variabili tra un valore di 0.03 $s/m^{1/3}$.

Figura 6-3 Planimetria delle sezioni utilizzate – Tratto di monte (040-E02)

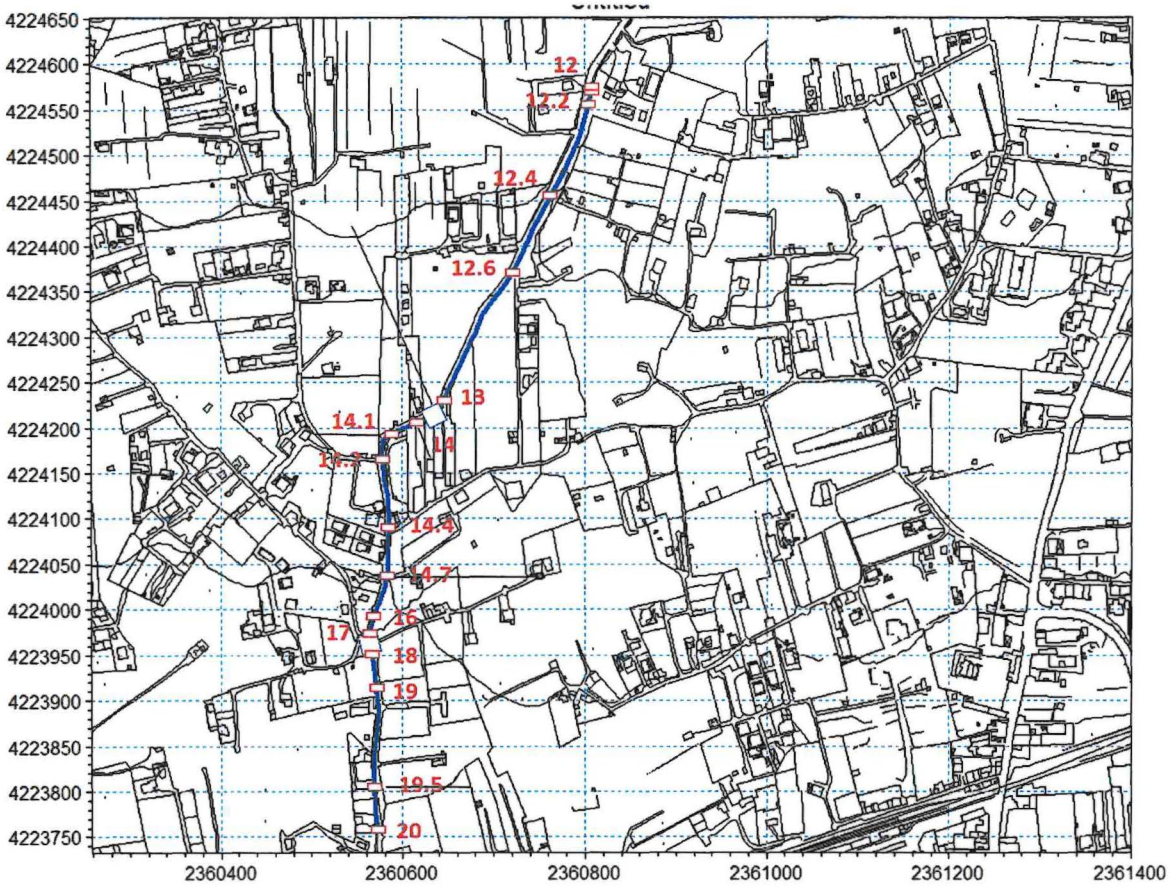
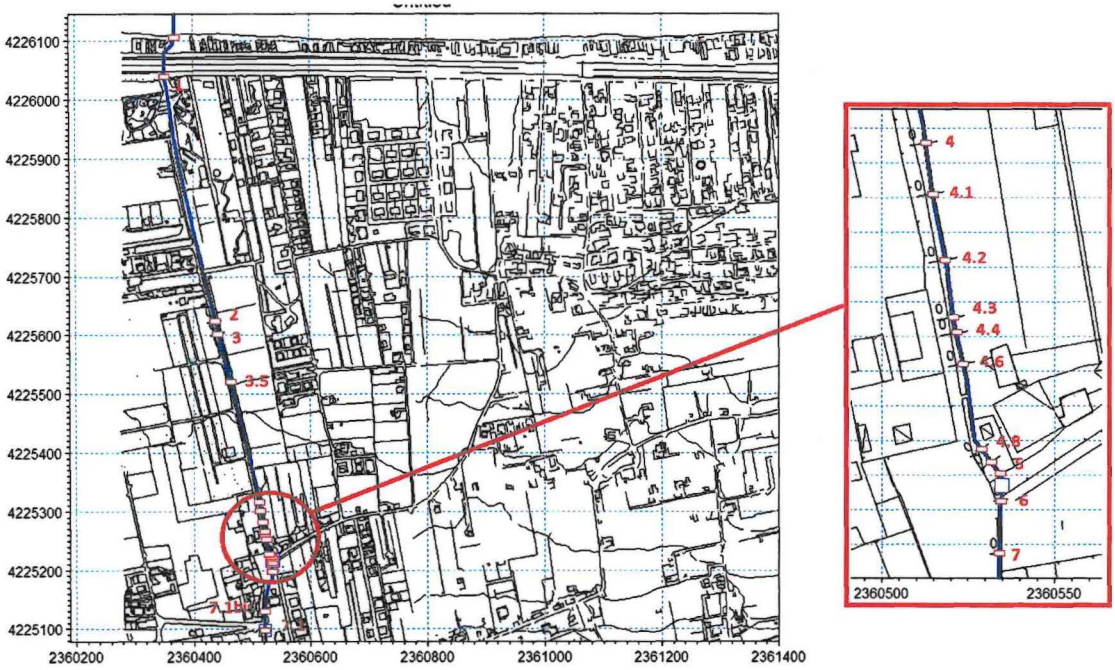


Figura 6-4 Planimetria delle sezioni utilizzate – Tratto di valle (040-01)



La restituzione grafica derivante dall'implementazione del predetto modello, ha portato alla determinazione delle mappe dei tiranti idrici e delle velocità nelle aree inondabili.

Allegati al presente studio sono appunto le mappe sopradette, con colorazioni diverse atte a individuare il relativo intervallo di valori, riportate nelle ortofoto delle aree di interesse.

7. METODOLOGIA ADOTTATA PER LE VERIFICHE IDRAULICHE CON MODELLO MONODIMENSIONALE

Lo scopo delle analisi idrauliche effettuate in alveo con l'utilizzo di idoneo modello monodimensionale, come sopra detto, è stato quello di determinare, per i tempi di ritorno considerati (50, 100 e 300 anni) i livelli idrici in corrispondenza delle portate di piena lungo l'inbtero corso d'acqua, onde verificarne la sufficienza idraulica e prevedere quindi le opere necessarie per sua messa in sicurezza.

In generale, tutte le analisi sono state condotte assumendo lo stato stazionario (moto permanente) sebbene i processi di propagazione delle onde di piena siano fenomeni di moto vario.

Tale ipotesi è supportata dal fatto che le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario.

Lo studio si è svolto secondo le seguenti fasi:

- definizione della configurazione del sistema;
- ricostruzione della geometria dell'alveo mediante rilievo sulla base della cartografia disponibile e dei rilievi di campagna effettuati;
- individuazione delle condizioni al contorno;
- calcolo dei livelli di moto permanente con l'applicazione del modello idraulico HEC-RAS e conseguente verifica della sufficienza idraulica (verifiche ante operam);
- individuazione dei tratti di torrente da adeguare ai fini di garantire la sufficienza idraulica;
- proposte di adeguamento delle sezioni insufficienti e conseguente verifica, sempre con il programma di calcolo HEC-RAS della sufficienza idraulica (verifiche post operam)

Le verifiche idrauliche in alveo sono state eseguite utilizzando, come detto, il programma HEC-RAS, che permette la simulazione del deflusso in moto permanente.

Gli elaborati prodotti riguardano i profili longitudinali e le sezioni trasversali, ognuna con i livelli idrici relativi ai diversi valori di portata corrispondenti ai prefissati tempi di ritorno (Tr=50 , Tr=100, Tr= 300).

Sulle sezioni ottenute facendo girare il modello HEC sono riportati i livelli idrici della corrente con diversi valori di portata:

- QTr 50 indicata con la retta WS PF 1
- QTr 100 indicata con la retta WS PF 2
- QTr 300 indicata con la retta WS PF 3.

Relativamente ai valori delle portate considerate, sono stati utilizzati n. 3 valori di portata.

In particolare per il tratto compreso tra la Sez. 24 e la Sez. 14 (questa individuata come sezione di verifica in corrispondenza di Casa Marzio nel P.A.I.) sono state utilizzate, evidentemente a favore di sicurezza le seguenti portate

Tratto Sezioni 24-14	**Q Tr = 50 anni**	**Q Tr = 100 anni**	**Q Tr = 300 anni**
	13,77 mc/s	15,29 mc/s	17,68 mc/s

Per il tratto compreso tra la Sez. 14 e la Sez. 6 (questa individuata come sezione di verifica individuata in corrispondenza del Baglio Vernagallo nel P.A.I.) sono state utilizzata, evidentemente a favore di sicurezza le seguenti portate

Tratto Sezioni 14-6	**Q Tr = 50 anni**	**Q Tr = 100 anni**	**Q Tr = 300 anni**
	15,66 mc/s	17,38 mc/s	20,11 mc/s

Relativamente all'ultimo tratto, quello compreso tra la Sez. 6 e la Sez. 1, si sono utilizzate le medesime portate utilizzate nel tratto precedente, leggermente maggiorate per tenere conto del contributo, peraltro limitato, di apporto del bacino sotteso.

8. DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE

Come detto precedentemente, per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale HEC-RAS nell'ipotesi di regime di moto permanente e corrente lenta (subcritical).

Sono state condotte 3 simulazioni, una per ogni portata al colmo di piena, valutata alla sezione di interesse, per fissato tempo di ritorno (50, 100, e 300).

I risultati sono stati riportati in forma grafica attraverso la stima dei tiranti idrici e delle portate in diverse sezioni del corso d'acqua.

Nelle simulazioni eseguite con il software HEC-RAS, si è assunta l'ipotesi, come detto precedentemente, di condizioni di moto permanente e monodimensionale.

Tale assunzione comporta, talvolta, l'approssimazione del risultato nei casi in cui si abbiano estese aree pressoché pianeggianti all'esterno dell'alveo di un corso d'acqua.

In particolare, nel presente studio si è scelto di mantenere la soluzione fornita dal modello di calcolo, individuando l'area di inondazione mediante la semplice intersezione della superficie liquida che si determina nell'alveo centrale del canale, con le curve di livello dell'area interessata.

In tale situazione non si è dunque tenuto conto dei possibili effetti di laminazione della portata esondata, rallentata e/o trattenuta nell'area circostante l'alveo, e dell'effetto di riduzione della stessa a causa dello sfioro che si verifica in alcune sezioni.

Tuttavia tale risultato può senz'altro essere accettato, a vantaggio della sicurezza, come limite superiore degli eventi di esondazione con tempo di ritorno pari a 50, 100, e 300.

Per l'individuazione delle aree inondabili si è fatto riferimento alle quote del pelo libero, ottenute dai calcoli del modello HEC-RAS.

Dalle verifiche effettuate sullo stato di fatto risulta quanto segue.

Nel tratto compreso tra la Sez. 24 e la Sez. 21 le verifiche sono positive per tutte le portate considerate.

In corrispondenza della Sez. 21, dove inizia il tratto intubato, la verifica è positiva per Tr=50 anni, mentre esonda per Tr= 100 anni e Tr= 300 anni rispettivamente di 0,11 m e 0,30 m.

Dalla sez. 21 alla sez. 20, il vallone è intubato (ovoidale di altezza pari a 1,80 ml.); dalle verifiche effettuate risulta che la sezione è insufficiente per le portate considerate.

Il tratto che và dalla sez. 20 alla sez. 12 è quello individuato nel P.A.I. a pericolosità P3 e rischi R2 e denominato 040-E02.

Alla sez. 20 le verifiche sono positive.

In corrispondenza della sez. 19 (sezione critica di restringimento su Via Sant'Anna in prossimità di Case Marzio e coincidente con la sezione di verifica indicata nel P.A.I.) il torrente esonda già per Tr= 50 anni; per tale portata il torrente esonda di 1,75 m mentre per i restanti tempi di ritorno Tr= 100 anni e Tr = 300 anni esonda rispettivamente di ml. 1,94 e ml. 2,20.

Dalla sez. 17 alla sez. 13 il torrente esonda per tutte e tre le portate con un massimo in corrispondenza della sez. 17 con livelli idrico per i tempi di ritorno considerati rispettivamente pari a per Tr= 50 anni 0,75 ml., per Tr=100 anni 0,94 ml. e per Tr= 300 anni 1,24 ml.

In corrispondenza delle sezioni n. 12 e n. 11 le verifiche sono positive.

Nel tratto compreso tra la sez. 10 e la sez. 9 (imbocco scatolare di attraversamento della S.S. n.113) il torrente esonda con un massimo in corrispondenza della sez. 9 con

esondazioni per i tempi di ritorno considerati rispettivamente pari a per Tr= 50 anni 0,26 ml., per Tr=100 anni 0,37 ml. e per Tr= 300 anni 0,55 ml.

Il tratto compreso tra la sez. 8 (sbocco del manufatto scatolare di attraversamento della S.S.113) e la sez. 4 è quello individuato nel P.A.I. a pericolosità P3 e rischio R2 e denominato 040-E01.

Nel tratto compreso tra la sez. 8 e la sez. 7 il torrente esonda con un massimo in corrispondenza della sez. 7 con esondazioni per i tempi di ritorno considerati rispettivamente pari a per Tr= 50 anni 1,42 ml., per Tr=100 anni 1,60 ml. e per Tr= 300 anni 1,87 ml.

Nel tratto compreso tra la sez. 6 e la sez. 4 il torrente esonda con un massimo in corrispondenza della sez. 5 con esondazioni per i tempi di ritorno considerati rispettivamente pari a per Tr= 50 anni 0,97 ml., per Tr=100 anni 1,15 ml. e per Tr= 300 anni 1,44 ml.

Nel tratto compreso tra la sez. 4 e la sez. 2 il torrente esonda con un massimo in corrispondenza della sez. 2 con esondazioni per i tempi di ritorno considerati rispettivamente pari a per Tr= 50 anni 1,03 ml., per Tr=100 anni 1,20 ml. e per Tr= 300 anni 1,46 ml.

Negli elaborati allegati relativi all'Ante Operam, profili longitudinali e sezioni trasversali, sono riportati in dettaglio tratto per tratto il valore delle portate, delle caratteristiche geometriche, nonché i valori delle altezze delle sponde nonché i livelli idrici determinati per le varie portate con il metodo proposto.

Inoltre sono riportate in allegato le sezioni di verifica così come generate dal programma HEC- RAS; in tali sezioni le linee azzurre indicano i livelli idrici relativi al profilo di corrente in moto permanente per i tempi di ritorno considerati; le linee rosse indicano l'altezza di stato critico mentre le linee verdi rappresentano il carico totale, ossia l'energia specifica della corrente riferita al fondo del canale stesso.

9. DESCRIZIONE DELLO STATO DI PROGETTO

Sulla scorta delle verifiche effettuate, lo studio si è prefisso altresì di individuare quegli interventi di adeguamento che dovrebbero essere realizzati, allo scopo di mettere in sicurezza l'intero vallone della Noce scongiurando fenomeni di esondazione e garantendo la necessaria sufficienza idraulica al deflusso delle portate di massima piena.

A tale scopo, si è pertanto proceduto, sulla scorta delle verifiche effettuate sullo stato di fatto, a prevedere degli interventi modificando quindi alcune delle sezioni del Vallone.

Fatte queste modifiche, con le stesse portate utilizzate per le verifiche dello stato di fatto, si sono effettuate le simulazioni con il programma HEC-RAS, onde verificare che con le ipotesi di adeguamento proposte venisse garantita la sufficienza idraulica delle sezioni.

Gli interventi di adeguamento proposti, riguardano modeste modifiche plano altimetriche di parte del tracciato del Vallone, nonché adeguamenti di scatolari e tubazioni per i tratti in cui il Vallone è sotto traccia.

Sinteticamente gli interventi proposti riguardano:

- lievi abbassamenti del fondo;
- innalzamento delle sponde;
- lievi allargamenti delle sezioni;
- adeguamenti di scatolari e tubazioni nei tratti in cui il Vallone è sotto strada.

Si precisa, che gli interventi proposti riguardano anche tratti del torrente esterni alle due zone a pericolosità P3 e rischio R2 individuate nel P.A.I., e ciò in quanto, come si deduce dalle verifiche effettuate, vi sono anche al di fuori delle predette zone delle sezioni insufficienti al convogliamento delle portate di massima piena.

Nel seguito si illustreranno sinteticamente gli interventi proposti tratto per tratto, rimandando ai relativi elaborati post operam per averne una visione chiara e completa.

- Tratto intubato (sezz. 21- 20) si propone di sostituire il collettore ovoidale esistente di altezza massima pari ad 1,80 ml. con una tubazione circolare del Ø 250 mm; si prevede inoltre l'adeguamento della sezione di imbocco (sez. 21) attraverso un allargamento della sezione di 1,00 ml. e uno scavo del fondo di 0,80 m.
- Tratto sezz. 19 – 16 : si propone di allargare la sezione 19 (allo stato attuale estremamente ristretta) di 0,50 ml. lato strada; quindi si propone un abbassamento del fondo di circa 0,70 ml. e un innalzamento delle sponde di 0,80 ml.
- Tratto sezz. 16-14 : si propone di abbassare il fondo alveo di circa 0,90 ml.
- Scatolare sotto strada di attraversamento della Via Sant'Anna: si propone in primo, in corrispondenza dell'imbocco (sez.14) un innalzamento della sponda di circa 0,70 cm; lo scatolare (sez. 13.5) si prevede che venga adeguato allargandolo per una larghezza complessiva di ml. 2,50; inoltre allo sbocco dello stesso (sez. 13) si propone un abbassamento del fondo alveo di circa 0,50 fino alla sez. 12;
- Tratto intubato sotto Via Sant'Anna (sezz. 12-11) : si propone di sostituire l'attuale tubazione del Ø 150 mm con una tubazione del Ø 220 cm;
- Tratto sezz. 11-9 : abbassamento fondo alveo di circa 0,50 cm;
- Scatolare di attraversamento della S.S. 113 : si propone di allargare lo scatolare di circa 0,70 cm;

- Tratto sezz. 7- 6 (imbocco ponticello di Via Milioti) : si propone un allargamento della sezione di 1,00 ml e un abbassamento del fondo alveo di circa ml. 1,00;
- Tratto sezz. 5 (sbocco ponticello Via Milioti) – 4: si propone un innalzamento delle sponde di circa 0,50 cm e un abbassamento del fondo alveo di circa ml. 1,00.
- Tratto sezz. 4 – 2 : si propone uno scavo del fondo alveo di circa 0,70 cm e un innalzamento delle sponde di 0,50 cm;

10. CONCLUSIONI

Lo studio in argomento, si configura da un lato come uno studio di compatibilità idraulica redatto con i contenuti di quanto previsto nell'Allegato "B" alla Relazione Generale del P.A.I., e dall'altro come uno studio idraulico finalizzato alla verifica della sufficienza idraulica del Vallone della Noce lungo tutto il suo sviluppo.

In particolare la necessità dello studio di compatibilità idraulica è scaturita dalla specifica richiesta dell'Assessorato Regionale del Territorio e Ambiente, a seguito della richiesta allo stesso da parte del Comune di Carini del parere di competenza in merito alle istanze di concessioni edilizie e sanatorie avanzate da privati cittadini.

Da tale punto di vista i contenuti dello studio hanno riguardato la verifica dei dissesti idraulici che interessano le aree a pericolosità P3 come individuate nel P.A.I. del Bacino Idrografico del Fiume Oreto e dell'Area Territoriale tra il Bacino del Fiume Oreto e Punta Raisi, Piano approvato con Decreto del Presidente della Regione n° 91 del 27.03.2007 pubblicato sulla G.U.R.S. n° 26 del 08.06.2007.

Tale aspetto, come esplicitamente richiesto dall'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, è stato affrontato attraverso la determinazione delle mappe dei tiranti idrici e delle velocità nelle aree di interesse, per i tempi di ritorno considerati (50, 100 e 300 anni).

L'analisi idraulica attraverso la quale si è pervenuti alla predetta mappatura, è stata supportata dall'implementazione di un modello numerico ad alta tecnologia e risoluzione, mediante l'applicazione del codice di calcolo **MIKE FLOOD** del DHI. Tale modello combina dinamicamente l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale.

Nel caso in esame, il rio Vallone della Noce è stato modellato con approccio monodimensionale, attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali disponibili, comprensive delle geometrie delle tombinature interferenti con il deflusso di piena.

La configurazione geometrica adottata è relativa al rilievo topografico di dettaglio effettuato.

L'alveo del rio è stato quindi collegato dinamicamente alla piana inondabile, sia in sponda destra che in sponda sinistra nel rispetto delle reali quote arginali. L'area è stata rappresentata mediante il modello del terreno a celle quadrate di lato 2x2 m derivante dal rilievo con tecnologia Laser-scanning LiDAR.

Il modello digitale del terreno è stato completato dall'inserimento degli edifici e di tutte le strutture contenitive in grado di condizionare la propagazione della piena stessa sul territorio. La mappatura dei rilievi arginali rilevanti per il deflusso è scaturito sempre dal dettagliato rilievo effettuato.

Inoltre, in ottemperanza all'incarico ricevuto, lo studio che la presente relazione accompagna, si configura altresì come uno studio idraulico dell'intero corso del Vallone della Noce, finalizzato a verificarne la sufficienza idraulica onde individuare quegli interventi necessari da effettuare per la completa messa in sicurezza dello stesso, consentendo quindi all'Amministrazione di potere procedere con la relativa programmazione.

Tale fase dello studio si è svolta attraverso le seguenti fasi:

- definizione della configurazione del sistema;
- ricostruzione della geometria dell'alveo mediante rilievo sulla base della cartografia disponibile;
- individuazione delle condizioni al contorno;
- calcolo dei livelli di moto permanente con l'applicazione del modello idraulico monodimensionale HEC-RAS e conseguente verifica della sufficienza idraulica (verifiche ante operam);
- individuazione dei tratti di torrente da adeguare ai fini di garantire la sufficienza idraulica;
- proposte di adeguamento delle sezioni insufficienti e conseguente verifica, sempre con il programma di calcolo HEC-RAS della sufficienza idraulica (verifiche post operam), onde fornire all'Amministrazione uno strumento programmatorio degli interventi che lo stesso ritenesse necessario per mettere in sicurezza l'intero Vallone abbattendo completamento il livello di pericolosità e il rischio, garantendo per tutto il suo sviluppo la sufficienza idraulica per le portate di massima piena.

11. ALLEGATI

Nel seguito si riportano gli allegati allo studio che ne fanno parte integrante:

N°	*CODICE*	*ELABORATO*	*SCALA*
00	**A000.doc**	**Elenco Elaborati**	
01	**A001.doc**	**Relazione tecnica - descrittiva**	
02	**B002.pdf**	**Stralcio Carta della Pericolosità Idraulica e del Rischio Idraulico P.A.I. Bacino Idrografico del F.Oreto (039) – Area Territoriale tra il Bacino del F. Oreto e Punta Raisi (040)**	
03	**B003.dwg**	**Planimetria Generale**	**1:5000**
04		**Planimetria Stato di Fatto**	**1:2000**
04A	B004A.dwg	" " " " (Tratto 1)	"
04B	B004B.dwg	" " " " (Tratto 2)	"
04C	B004C.dwg	" " " " (Tratto 3)	"
04D	B004D.dwg	" " " " (Tratto 4)	"
05	**C005.dwg**	**Profilo Longitudinale Ante Operam**	**1:2000/100**
06		**Sezioni Ante Operam**	
06A	D006.pdf	Profilo Longitudinale - Sezioni Trasversali HEC RAS Ante Operam	
06B	D006.dwg	Sezioni Tipo Ante Operam	1:100
07		**Mappatura Tiranti Idrici aree a pericolosità P3**	**1:2000**
07.1A		Planimetria con indicazione tiranti Tr = 50 anni	1:2000
07.1B		Planimetria con indicazione tiranti Tr = 100 anni	1:2000
07.1C		Planimetria con indicazione tiranti Tr = 300 anni	1:2000
07.1D		Planimetria con indicazione velocità Tr = 50 anni	1:2000
07.1E		Planimetria con indicazione velocità Tr = 100 anni	1:2000
07.1F		Planimetria con indicazione velocità Tr = 300 anni	1:2000
08		**Planimetria con individuazione tratti di intervento**	**1:2000**
08A	A008A.dwg	" " " " (Tratto 1)	"
08B	A008B.dwg	" " " " (Tratto 2)	"
08C	A008C.dwg	" " " " (Tratto 3)	"
09	**C009.dwg**	**Profilo Longitudinale Post Operam**	**1:2000/100**
10		**Sezioni Post Operam**	
10A	D010.dwg	Sezioni Trasversali Post Operam	1:100
10B	D010.dwg	Sezioni Tipo Post Operam	1:100
11	**D011.pdf**	**Profilo Longitudinale - Sezioni Trasversali HEC RAS Post Operam**	
12	**E012.doc**	**Documentazione Fotografica**	

ALLEGATO A – DESCRIZIONE TECNICA MIKE 11

PREMESSA

MIKE 11 è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

La grande flessibilità del codice di calcolo permette di integrare, attraverso specifici moduli, le applicazioni idrodinamiche con fenomeni idrologici, trasporto solido, advezione-dispersione, qualità delle acque, ecologia, rendendo MIKE 11 uno strumento indispensabile per affrontare e risolvere molteplici problemi d'ingegneria fluviale quali, ad esempio:

- studi di idraulica fluviale e di propagazione dell'onda di piena;
- studi di idrologia e idrogeologia;
- supporto alla progettazione e gestione di opere idrauliche;
- analisi della rottura dighe;
- analisi del trasposto solido e morfologia fluviale;
- modelli di previsione in tempo reale e di supporto decisionale;
- analisi dei fenomeni di intrusione del cuneo salino in fiumi ed estuari;
- studi di valutazione della qualità delle acque sia superficiali che sotterranee;
- analisi dello stato ecologico dei corsi d'acqua.

MIKE 11 è costituito dai seguenti moduli:

- HD (idrodinamico): simulazione del flusso in canali a pelo libero, costituisce la base per ulteriori moduli aggiuntivi;
- RR (afflussi-deflussi): modulo che consente, partendo dai dati meteorologici (pioggia, temperature, evapotraspirazione, ecc...), su bacini naturali o artificiali, di ricostruire attraverso l'utilizzo di modelli idrologici (NAM, UHM, Drift, ecc...) le portate idriche in assegnate sezioni di calcolo;
- AD (advezione-dispersione): simulazione del processo di advezione e dispersione di una sostanza in soluzione o in sospensione di qualsiasi natura

nel corpo idrico, eventualmente caratterizzata da una cinetica di decadimento lineare;

- ECOLab (ecologico): simulazione di una serie di processi qualitativi, tra i quali il ciclo BOD-DO con nitrificazione-denitrificazione, il ciclo del fosforo, l'eutrofizzazione, il trasporto di metalli pesanti ecc.;
- ST (trasporto sedimenti): simulazione del trasporto solido di materiale non coesivo, in modalità disaccoppiata (senza variazione della geometria del fondo alveo) o accoppiata (calcolo delle trasformazioni morfologiche);
- FF/DA (previsioni in tempo reale): il modulo consente, assimilando i dati misurati in tempo reale su un bacino e/o corso d'acqua, di correggere la simulazione idrodinamica al fine di garantire una affidabilità massima sulla previsione di un evento di piena.

Particolarmente efficace risulta la possibilità di poter integrare il codice MIKE 11, con altri codici di calcolo della famiglia MIKE quali: MIKE 21 (MIKE FLOOD), per simulare in maniera combinata fenomeni 1D e 2D; MIKE SHE, per la modellazione di corpi idrici superficiali e sotterranei; WEST, per simulare in dettaglio i processi nell'impianto di trattamento ed il relativo impatto sul corso d'acqua recettore; MOUSE (MIKE URBAN FLOOD), simula le interferenze tra il corso d'acqua e la rete di drenaggio.

Di seguito si descrive il codice MIKE 11 HD.

MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 11 ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\alpha\frac{Q^2}{A})+gA\frac{\partial h}{\partial x}=0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\alpha\frac{Q^2}{A})+gA\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{gQ|Q|}{C^2AR}=0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m2);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m1/2 s-1);

g = accelerazione di gravità (m s-2);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m3/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m2 s-1).

SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+gA\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{gQ|Q|}{C^2AR}=0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente.

Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h/\partial x$. Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia

quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione Q = A(Zj1) . Zj2

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

Tipo 7. Ponti

In MIKE 11 possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

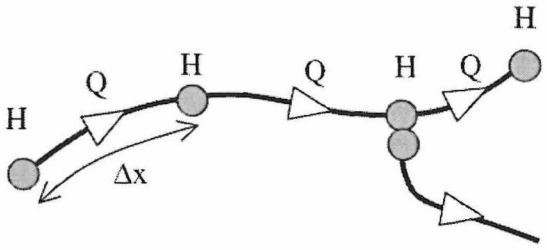
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a 1/n, essendo n il coefficiente di Manning.

CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;

- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d} + V}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;

V = velocità media della corrente;

g = accelerazione di gravità;

Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente (Fr<1), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$V * Dt < Dx$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

ALLEGATO B – DESCRIZIONE TECNICA MIKE 21

PREMESSA

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.



Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- CLASSIC GRID (Griglia classica singola):le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenza finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- MULTIPLE GRID (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- FLEXIBLE MESH (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- CURVILINEAR (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Di seguito si descrive il modulo MIKE 21 HD Classical Grid.

Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Come menzionato in precedenza, i risultati di una simulazione MIKE 21 HD possono essere usati come input per la simulazione di fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici:

- trasporto di sostanze disciolte/sospese in acqua, modulo AD e modulo "Mud Transport";
- trasporto solido di materiale non coesivo, modulo ST;
- qualità delle acque ed idroecologia, modulo ECO Lab.

Infine, per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\frac{\partial \zeta}{\partial x}+\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2}-\frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right)\right]-\Omega q-fVV_x$$
$$+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial x}p_a+\frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right)=0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\frac{\partial \zeta}{\partial y}+\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2}-\frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xy}\right)\right]-\Omega p-fVV_y$$
$$+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial y}p_a+\frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}\right)=0$$

nelle quali:

h(x,y,t) = profondità dell'acqua;

ζ (x,y,t) = quota del pelo libero;

p,q(x,y,t) = portate unitarie nelle direzioni x e y;

C(x,y) = coefficiente di scabrezza di Chezy;

G = accelerazione di gravità;

f(V) = fattore d'attrito del vento;

V,Vx,Vy(x,y,t) =velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

Ω (x,y) = parametro di Coriolis;

pa (x,y,t) = pressione atmosferica;

ρw = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

τxx, τxy, τyy = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

Sxx,Sxy,Syy = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(E\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(E\frac{\partial p}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hE\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su

tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_S^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e cs è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} hE \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

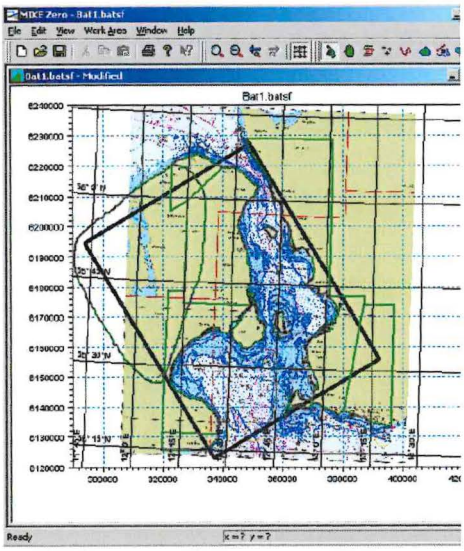
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m3/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

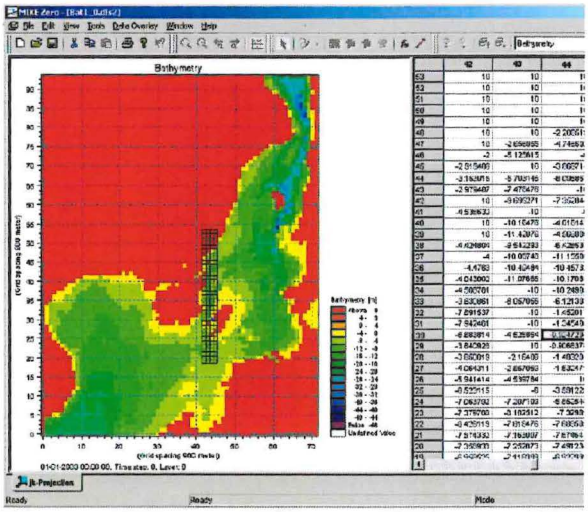
La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione "griglia multipla- nested grid", che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

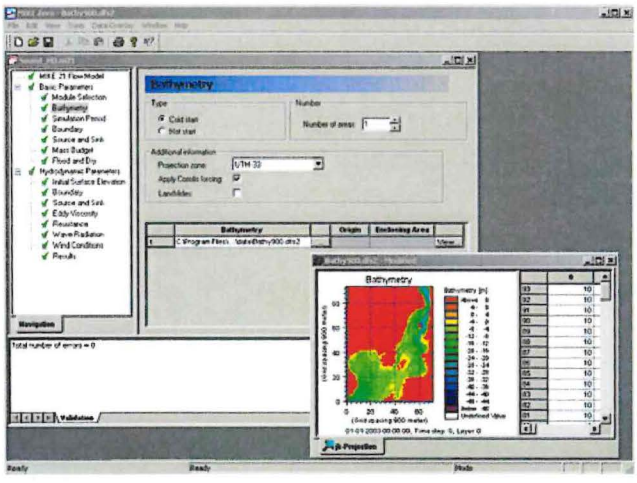
Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).





Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).



I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da

esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

