

COMUNE DI FELTRE
Provincia di Belluno

P.I.
2013 - A

elaborato



A.T.O.
9

ambito

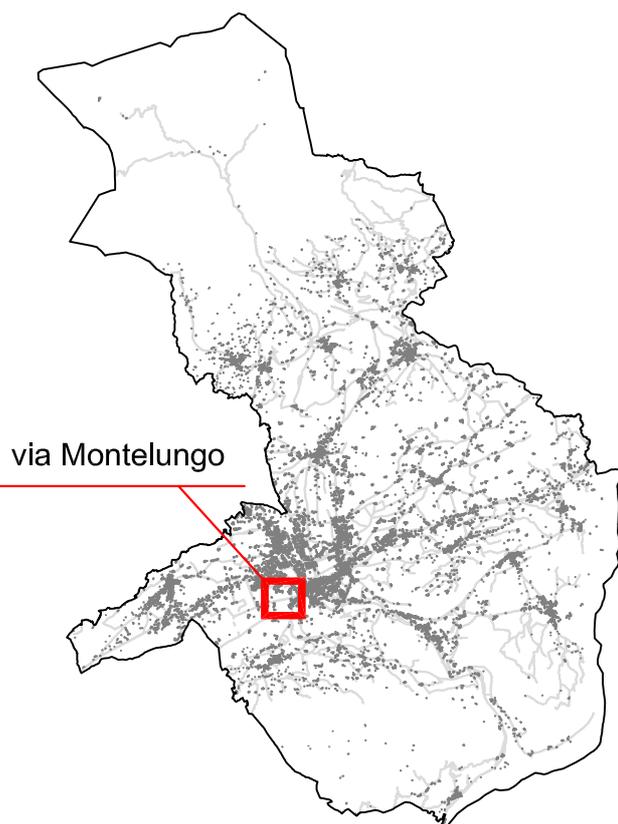
scala



Valutazione di Compatibilità Idraulica

(D.G.R.V. n. 1841/2007 e s.m.i.)

variante di dettaglio in Via Montelungo



UFFICIO ASSOCIATO
URBANISTICA
Comuni di Feltre, Alano, Quero,
Seren del Grappa e Vas

UNITA' DI PROGETTO
PIANIFICAZIONE DEL
TERRITORIO
arch. Oliviero Dall'Asen

UFFICIO PIANIFICAZIONE
arch. Michela Rossato

PROGETTAZIONE
dott.ing. Gaspare Andreella



CITTA' DI FELTRE

IL SINDACO
Paolo Perenzin

L'ASSESSORE ALL'URBANISTICA
Luciano Perco

IL SEGRETARIO
Daniela De Carli

ADOTTATO

con deliberazione di **C.C. n° 15** del **28/04/2014**

Il Presidente

Il Segretario

APPROVATO

con deliberazione di **C.C. n° 62** del **30/09/2014**

Il Presidente

Il Segretario

vigente dal
25/10/2014



COMUNE DI FELTRE

**RICHIESTA DI VARIANTE AL P.I.
REALIZZAZIONE NUOVO "GARDEN CENTER MAZZOCATO"**
Feltre - Via delle Industrie - Foglio nr. 60 mappali 286-353-354-355-356
357-358-375-432-433-445

**VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA
(D.G.R.V. 2949/2009)**

| |
|-----------------------------------|
| ELABORATO N. 1 |
| SCALA |
| CODICE DOCUMENTO G1324_r01 |
| FILE G1324_r01_00.pdf |

RELAZIONE TECNICA

COMMITTENTE

Sig. Roberto MAZZOCATO
nato a Feltre (BL) il 12/10/1952
residente a Feltre (BL) in Piazza Vittorino
da Feltre n.3
c.f. MZZ RRT 52R12 L5300

PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Gaspare Andreella
Viale Pedavona 46
32032 Feltre (BL)
tel. e fax 0439 302404
email info@studioandreella.com



| | | | | | |
|------|---------------|--|--------------|--------------|--------------|
| 0 | Dicembre 2013 | Aggiornamento grafico tavola urbanistica | G. Andreella | G. Andreella | G. Andreella |
| 0 | Ottobre 2013 | PRIMA EMISSIONE | G. Andreella | G. Andreella | G. Andreella |
| REV. | DATA | MOTIVO | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | |
|---|-----------|
| PREMESSA | 3 |
| 1 CONTENUTI DELLO STUDIO..... | 5 |
| 1.1 Obbiettivi | 5 |
| 2 DESCRIZIONE DELLA VARIANTE | 7 |
| 3 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI | 9 |
| 3.1 Idrologia..... | 11 |
| 3.2 Inquadramento Geologico e morfologico..... | 11 |
| 3.3 Caratteristiche idrografiche e della rete idraulica ricettore | 11 |
| 4 IL MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI | 13 |
| 4.1 Metodologia di analisi..... | 13 |
| 4.2 Il metodo del Curve Number | 14 |
| 4.3 Il modello di Nash | 15 |
| 4.4 Deflusso profondo | 16 |
| 5 ANALISI IDROLOGICA..... | 19 |
| 5.1 Regime pluviometrico intenso..... | 19 |
| 5.2 Valutazione del Curve Number | 20 |
| 5.3 Il fattore di scala e di forma nel modello di Nash | 20 |
| 5.4 Ricostruzione degli idrogrammi di piena sintetici..... | 21 |
| 6 IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PIAVE..... | 23 |
| 6.1 Il concetto di rischio..... | 23 |
| 6.2 Perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica | 24 |
| 7 PERICOLOSITA' E RISCHIO IDRAULICO | 27 |
| 7.1 Implementazione del modello..... | 27 |
| 7.2 Base topografica..... | 27 |
| 7.3 Geometria del modello..... | 28 |
| 7.4 Scabrezza dell'alveo | 30 |
| 7.5 Condizioni al contorno | 30 |
| 7.6 Risultati delle simulazioni..... | 31 |
| 7.7 Perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica | 33 |
| 8 APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA | 35 |
| 9 CONCLUSIONI | 37 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 39 |
| APPENDICE A – IL MODELLO MATEMATICO TUFLOW | 41 |
| A.1 TUFLOW | 42 |
| A.2 ESTRY..... | 44 |
| A.3 Accoppiamento dei modelli..... | 44 |
| A.4 Inserimento dati..... | 46 |
| A.5 Visualizzazione dei risultati..... | 48 |
| A.6 Applicazioni e utenti..... | 49 |
| A.7 BIBLIOGRAFIA | 51 |

PREMESSA

La presente valutazione di compatibilità idraulica (VCI) fa parte della "Richiesta di variante al PI" inerente al progetto per la "Realizzazione di nuovo Garden Mazzocato" nel Comune di Feltrè in Provincia di Belluno.

Essa è stata redatta ai sensi della Delibera della Giunta Regionale del Veneto n. 2948/2009 "Legge 3 agosto 1998, n.267 - Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici. Modifica delle delibere n.1322/2006 e n. 1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n.304 del 3 aprile 2009".

I CONTENUTI DELLO STUDIO

1.1 Obiettivi

Lo scopo fondamentale della VCI è quello di verificare l'ammissibilità delle previsioni contenute nel nuovo strumento urbanistico o nella variante, prospettando soluzioni corrette dal punto di vista dell'assetto idraulico del territorio.

Per perseguire tali obiettivi, è necessario valutare le interferenze che le nuove previsioni urbanistiche possono comportare con l'assetto idrologico ed idraulico del corso/i d'acqua verso il quale sono diretti i deflussi di origine meteorica, con riferimento all'intero bacino idrografico. La VCI deve quindi mettere in evidenza le criticità che interessano la rete di drenaggio, principale e secondaria, nell'attuale conformazione e valutare le modificazioni previste in seguito all'attuazione del nuovo strumento urbanistico.

Nei casi in cui si dovessero evidenziare variazioni peggiorative in termini di sollecitazione della rete di drenaggio, la VCI deve essere completata con l'individuazione di sistemi e dispositivi idonei ad annullare (misure di mitigazione e compensazione) tali variazioni, individuando tipologie di intervento, criteri di dimensionamento, eseguendo, se necessario, apposite verifiche idrauliche.

Si riporta di seguito il diagramma di flusso delle attività svolte per la redazione della presente VCI.

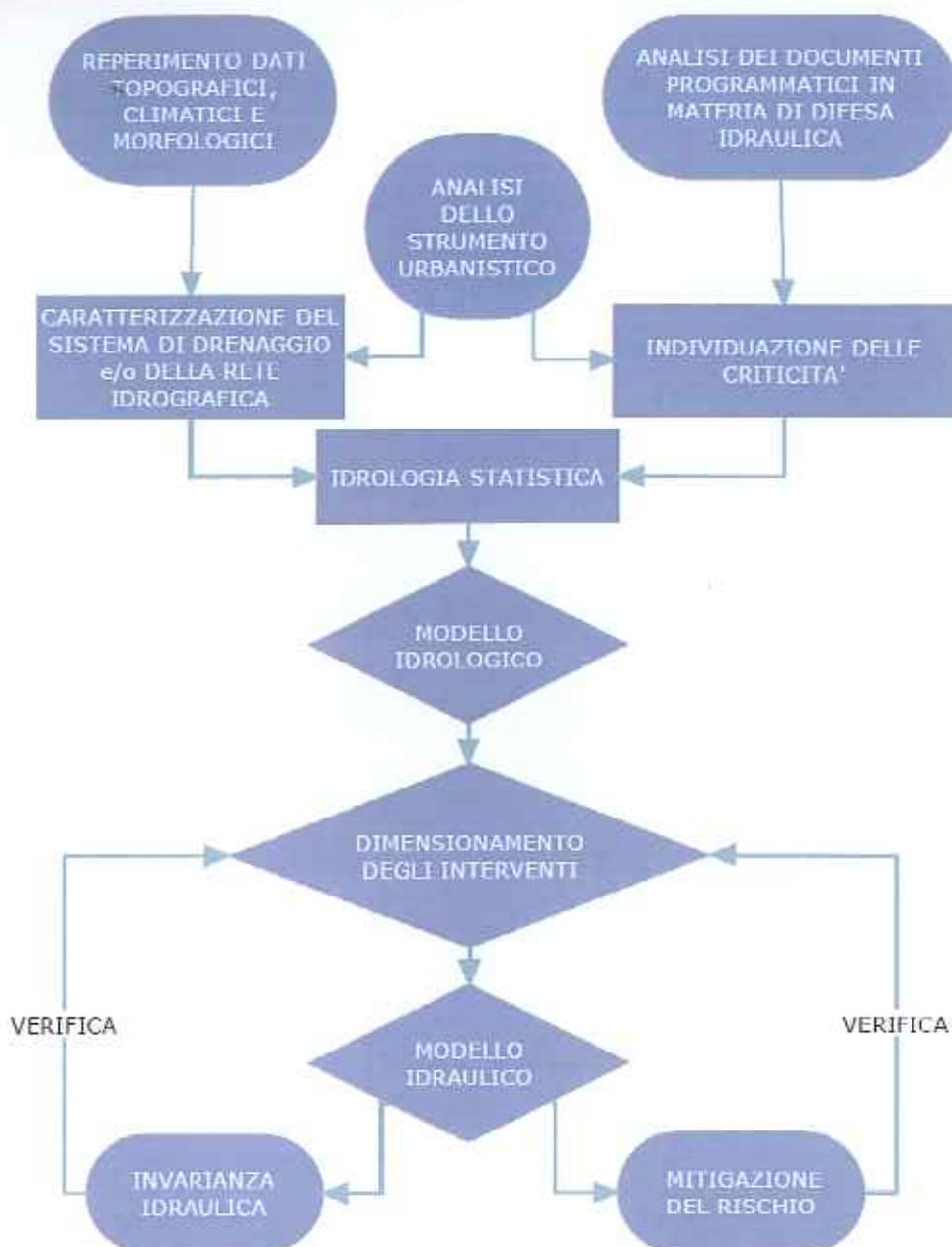
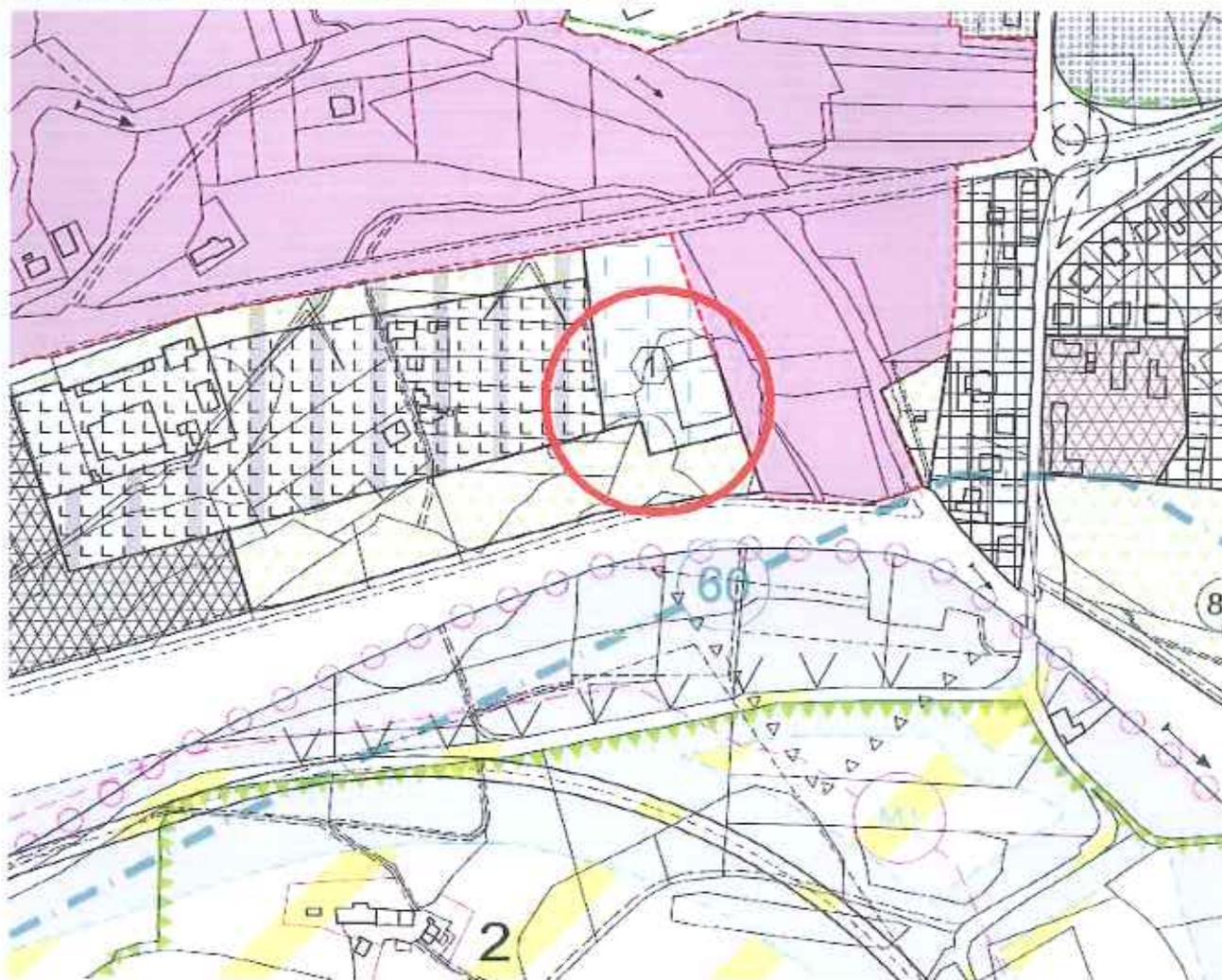


Figura 1 – Diagramma di flusso delle attività svolte nella redazione della presente VCI (Andreella, Boccato Coccato 2008 FOIV Ingegneri del Veneto)

2 DESCRIZIONE DELLA VARIANTE

Come indicato nell'elaborato di variante e nella seguente, la presente proposta di variante al PI prevede il cambiamento di destinazione d'uso di un'area adibita a Zona Verde, in zona agricola E2, al fine di consentire la realizzazione dell'ampliamento della serra in progetto.

La superficie in variante ammonta a 1 500 m² circa.



ambito interessato dalla proposta di variante

Z.T.O.D

INSEDIAMENTI PRODUTTIVI

D2 (attività artigianali)



Z.T.O.E

INSEDIAMENTI AGRICOLI

Sottozona E1



Sottozona E3



Sottozona E2



Verde privato senza capacità edificatoria

Z.T.O.F

ATTREZZATURE, SERVIZI ED EDIFICI PUBBLICI

F verde pubblico



AMBITO DI PROGETTAZIONE/UTILIZZO



Figura 2 – Stralcio della proposta di variante al PI

La nuova costruzione ricade quasi totalmente in Zona Agricola E2 dove sono già esistenti le serre vivaistiche del medesimo proprietario che occupano attualmente una superficie di 1 054,47 m².

Una porzione assai limitata, e cioè la piccola parte destinata a centrale termica e alle tettoie di stoccaggio ricade invece inevitabilmente nell'area destinata a verde comunale: purtroppo esiste l'oggettiva difficoltà a collocare altrove questi volumi, per le dimensioni e la forma del terreno di proprietà e per i limiti imposti dalle distanze di confine. Inoltre, per un minor impatto ambientale, ed una vista d'insieme più ordinata, risulta più opportuno collocare i vani di stoccaggio e la centrale termica in posizione meno visibile rispetto al resto per ovvie ragioni.

L'ampliamento da realizzarsi andrà a coprire una superficie di 2 022.40 m² andando così ad ottenere una superficie complessiva di 3 076.87 m².

Dal punto di vista della compatibilità idraulica, secondo quanto indicato nell'Allegato A alla DGR 2948/2009, l'intervento oggetto della presente variante si configura come un Intervento di "Modesta impermeabilizzazione potenziata" (Tabella 1), in quanto coinvolge una superficie di 0.3 ha.

Tabella 1 – Classificazione degli interventi in base alla superficie coinvolta (DGR 2948/2009)

| Classe di intervento | Definizione |
|--|---|
| <i>Trascurabile impermeabilizzazione potenziata</i> | <i>Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha</i> |
| <i>Modesta impermeabilizzazione potenziata</i> | <i>Intervento su superfici comprese fra 0,1 ha e 1 ha</i> |
| <i>Significativa impermeabilizzazione potenziata</i> | <i>Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha e interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con Imp. < 0,3</i> |
| <i>Marcata impermeabilizzazione potenziata</i> | <i>Intervento su superfici superiori a 10 ha con Imp. > 0,3</i> |

3 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI

L'area oggetto di variante occupa la riva sinistra del torrente Stizzon alla confluenza con il torrente Musil, nell'abitato d'Feltre in Provincia di Belluno.

L'area ricade totalmente nella tavola 62152 della Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R. 1:5 000).

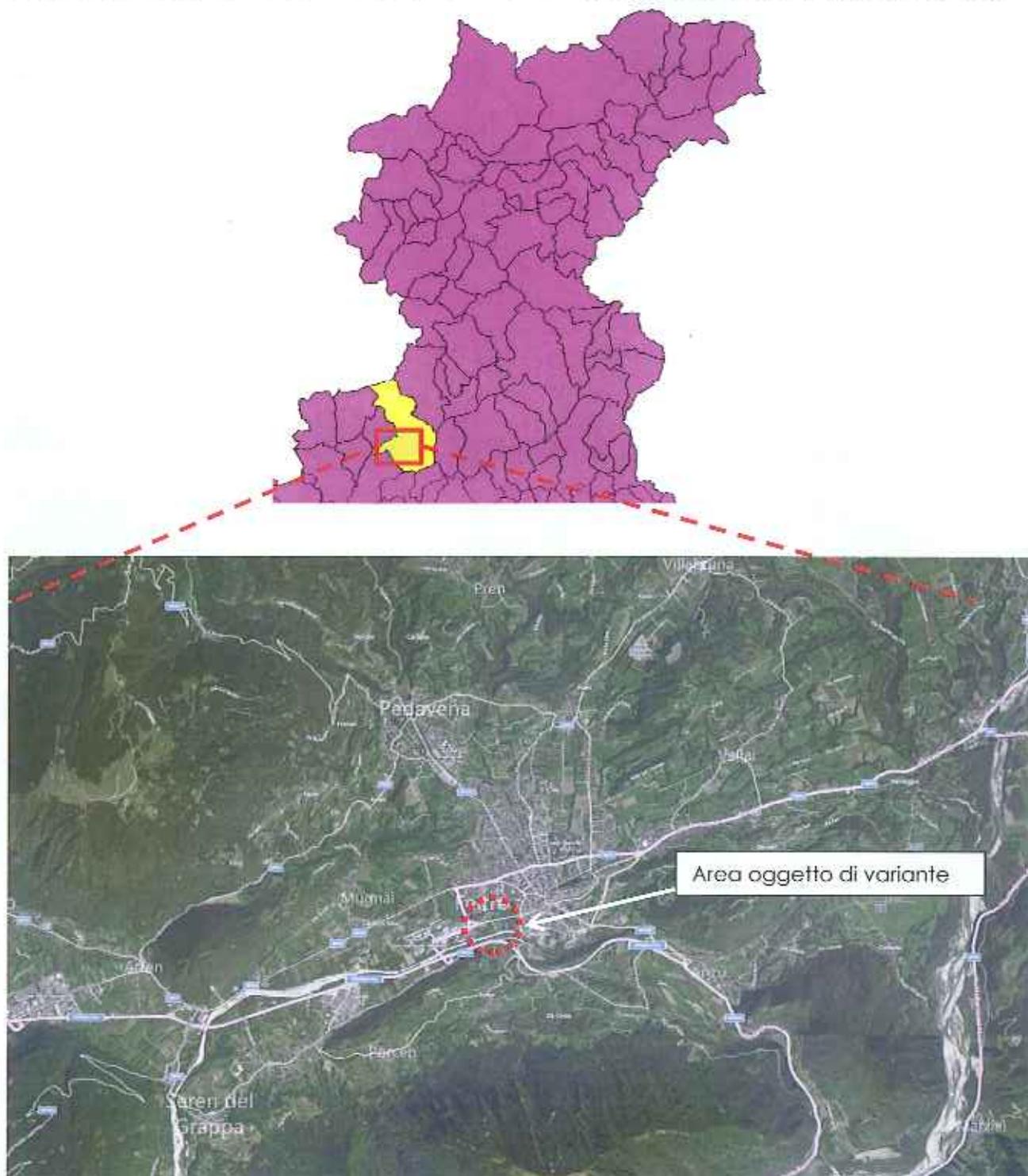


Figura 3 – Area interessata dalla presente variante

L'area oggetto di variante, indicata su base ortofoto nella seguente Figura 4 è situata a Sud di via Montelungo e a Ovest di Via Vignigole in riva sinistra del torrente Stizzon alla confluenza con il torrente Musil.

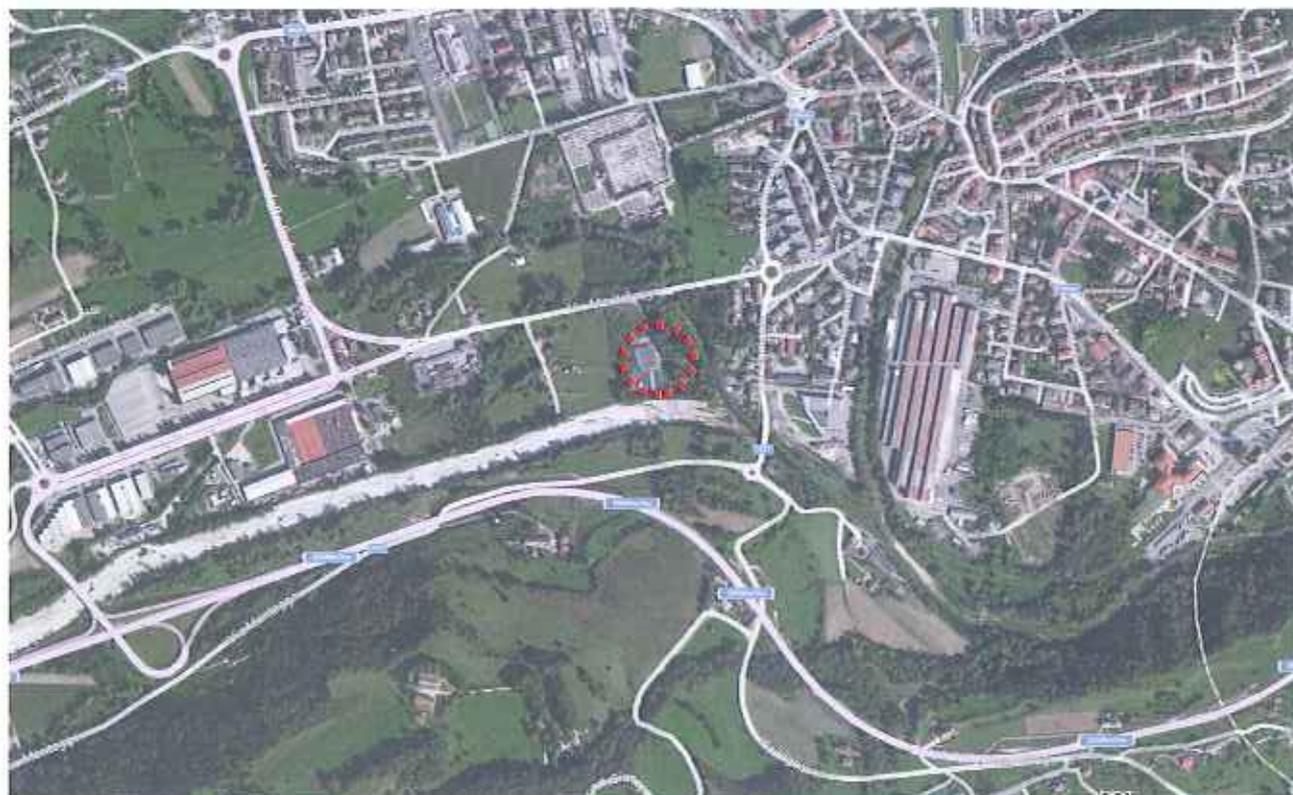


Figura 4 – Area oggetto di intervento su base ortofoto

3.1 Idrologia

Come descritto nella VCI allegata al PAT, dal punto di vista climatico l'area è caratterizzata da una piovosità piuttosto abbondante concentrata nella stagione tardo-primaverile, estiva ed autunnale. Le informazioni relative alle massime precipitazioni annue registrate dalla citata stazione, riportate dalla VCI del PAT del Comune di Feltre, sono state fornite dal Centro Meteorologico di Teolo (A.R.P.A.V.) già elaborate, sotto forma di labelle che riportano, per ciascun tempo di ritorno, le caratteristiche delle serie di dati, la loro numerosità e le equazioni di possibilità climatica regolarizzate secondo la legge di distribuzione di Gumbel.

3.2 Inquadramento Geologico e morfologico

La pianura situata tra il T. Stizzon e il T. Musil, all'interno della quale ricade la frazione "Mugnai", è costituita da un potente materasso formato da depositi alluvionali e fluvioglaciali.

All'interno di questo materasso si osservano delle variazioni litologiche sia in senso verticale, sia orizzontale: i primi 10 - 15 metri di sottosuolo sono costituiti da depositi prevalentemente ghiaiosi, mentre con l'aumentare della profondità tende ad aumentare la matrice limoso - argillosa. Procedendo da Ovest verso Est, si verifica ugualmente una importante variazione di facies, in quanto i depositi del settore occidentale della piana sono prevalentemente grossolani, mentre quelli del settore orientale si caratterizzano per la presenza di livelli limoso - argillosi.

3.3 Caratteristiche idrografiche e della rete idraulica ricettore

Attualmente i deflussi provenienti dall'area di variante recapitano naturalmente al suolo.

L'area in variante si trova in una zona in rilevato adiacente alla riva sinistra del torrente Musil. In corrispondenza del limite Sud dell'area, lato Stizzon, essa è protetta da una arginatura rivestita in massi.



Figura 5 – Muro d'argine rivestito in massi in sinistra Stizzon

La difesa spondale riprende per circa 40 m la riva destra del torrente Musil, mentre in sinistra è presente un muro d'argine che si sviluppa verso monte per 80 m.



Figura 6 – Torrente Musil alla confluenza con il torrente Stizzon

Nella seguente Figura 7 si riporta il reticolo idrografico interferente con l'area di intervento, con evidenziata la stessa area, il limite demaniale dei torrenti Stizzon e Musil.



Figura 7 – Area di intervento, mappali interessati e limite demaniale

4 IL MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI

In questo capitolo viene fornita la ricostruzione dei fenomeni idrologici che interessano il bacino in esame, mediante l'utilizzo di un modello matematico in grado non solo di restituire i valori principali dei fenomeni ma anche di rappresentarli con continuità temporale durante il manifestarsi dell'evento meteorico. In questo modo sono stati simulati gli eventi teorici che si presentano con caratteristiche medie valutabili mediante un approccio statistico.

4.1 Metodologia di analisi

La determinazione delle portate di progetto si basa sulla costruzione di un modello matematico di trasformazione afflussi – deflussi capace di correlare l'intensità dell'evento meteorico con l'idrogramma di piena generato. L'utilizzo di un modello matematico possiede anche il vantaggio di restituire non solo la massima portata al colmo, ma anche il completo andamento temporale del fenomeno, la forma dell'idrogramma e il volume complessivo.

Il problema della trasformazione afflussi – deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale (coefficiente di deflusso) che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Attualmente esiste un numero elevato di modelli concettuali in grado di simulare il comportamento idrologico del suolo. La pioggia efficace viene determinata attraverso la valutazione del coefficiente di deflusso che può essere ipotizzato costante nel tempo, nei modelli più semplificati, o variabile con il procedere dell'evento meteorico.

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo idrogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione).

Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura. Nel caso in esame l'impossibilità di procedere con questa procedura, a causa dell'assenza di misurazioni contemporanee pluvioidrometriche che non ha permesso la ricostruzione di eventi di piena reali, è consigliato di escludere l'utilizzo di quei modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Pertanto si è data preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Nella presente analisi, per quanto riguarda la determinazione dello idrogramma efficace ci si è avvalsi della metodologia proposta dal Soil Conservation Service (1972) nota come il metodo del Curve Number. Per la successiva determinazione dell'idrogramma di piena è stato utilizzato il noto modello di Nash. Entrambi gli algoritmi sono meglio descritti nei paragrafi seguenti.

4.2 Il metodo del Curve Number

La determinazione della pioggia efficace, ovvero della frazione di pioggia che defluisce direttamente alla rete idrografica, viene condotta con il metodo del Curve Number (CN) che determina tale volume di deflusso tenendo conto della variazione del grado di saturazione del terreno durante l'evento meteorico. Questo metodo è stato scelto tra quelli disponibili, per la maggiore consistenza fisica dei suoi parametri che lo rende applicabile anche nel caso di assenza di osservazioni di fenomeni reali.

Il metodo prevede un progressivo aumento del coefficiente di deflusso da un valore nullo, dovuto alle perdite iniziali che assorbono completamente la precipitazione, ad un valore tendente a 1 seguendo una precisa legge dipendente dalle caratteristiche di permeabilità del suolo e del sottosuolo.

Il volume di deflusso V viene calcolato, a partire dalla precipitazione netta P_n in base all'equazione:

$$V = \frac{W}{S} \cdot P_n \quad \text{(Eq. 4.1)}$$

dove W rappresenta il contenuto idrico del suolo e S la capacità idrica del suolo a saturazione.

P_n viene espressa dalla:

$$P_n = P - IA$$

dove P è la pioggia totale mentre IA rappresenta le perdite iniziali per intercettazione.

Tenendo conto che W può essere così espresso:

$$W = P_n - V$$

l'Eq. 2.1 diventa:

$$V = \frac{(P-IA)^2}{P+S-IA} \quad \text{(Eq. 4.2)}$$

Il parametro S è caratteristico delle condizioni del terreno e viene calcolato come:

$$S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{(Eq. 4.3)}$$

a partire dal numero di curva CN.

Questo è un parametro che può venire determinato rifacendosi ad apposite tabelle predisposte dal Soil Conservation Service, in base alle caratteristiche pedologiche, vegetazionali e di uso del suolo, e alle precipitazioni del periodo immediatamente precedente a quello considerato.

Il secondo parametro da introdurre per applicare questo metodo è il valore delle perdite iniziali IA ; queste possono essere stimate anche mediante la relazione empirica:

$$IA = 0,2 \cdot S \quad (Eq. 4.4)$$

Assumendo valida l'eq. 3.4 la quantità di deflussi diretti verso la rete idrografica può essere ricavata dalla lettura del grafico riportato in Figura 8, a partire dalla precipitazione totale. Come si può notare, al procedere del fenomeno meteorico e quindi con l'aumento del volume d'acqua complessivamente caduto al suolo il rapporto tra precipitazione e deflussi è destinato ad aumentare.

Il metodo del Curve Number è stato messo a punto con pratiche applicazioni su bacini di modesta pendenza di versante e pertanto il suo utilizzo in altri ambiti va condotto con attenzione. La sua applicazione in bacini alpini italiani ha evidenziato la validità del metodo, ma ha consigliato di associare diversi valori del CN alle tipologie di suolo rispetto a quelli consigliati dal SCS. In particolare l'entità delle perdite iniziali si ritiene più corretto assumere $IA = (0,05-0,10) S$.

Come si può desumere da quanto esposto, il metodo SCS fornisce unicamente il valore complessivo della pioggia efficace per l'intero evento; di conseguenza i modelli matematici, che operano in sequenza continua simulando il progredire nel tempo dei processi idrologici e quindi necessitano di conoscere il valore della pioggia efficace relativo a ciascun intervallo di tempo, calcolano tale valore come la differenza tra il valore complessivo della pioggia efficace alla fine dell'intervallo considerato e il valore che aveva raggiunto alla fine dell'intervallo precedente.

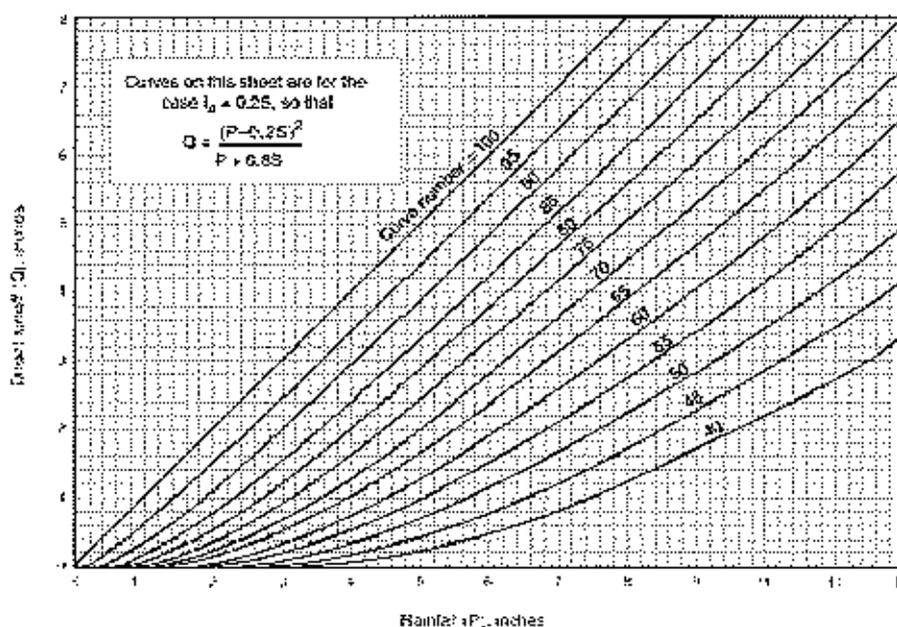


Figura 8 - Correlazione tra apporti meteorici e deflussi nella rete

4.3 Il modello di Nash

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso nella rete idrografica utilizzando la tecnica dell'idrogramma unitario che rappresenta la risposta idrologica di un bacino ad un impulso di pioggia efficace unitario di durata istantanea.

Se l'idrogramma unitario è ipotizzato invariante con il progredire della precipitazione (idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno idrogramma qualsiasi può essere determinato come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi è descritto da una funzione $U(t)$ per la quale si possono dare alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata t_p (tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco h_p . La durata dell'idrogramma unitario (t_b , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma identifica il tempo di ritardo t_L (time lag).

Tra i numerosi modelli matematici realizzati per la determinazione di questo idrogramma uno dei più riconosciuti è quello proposto da Nash (1957). Il modello descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso.

La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo a un'astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)} \quad \text{(Eq. 4.5)}$$

Il tempo di ritardo e il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad \text{e} \quad t_p = (\alpha - 1)k \quad \text{(Eq. 4.6)}$$

4.4 Deflusso profondo

La frazione di precipitazione assorbita da terreno, normalmente considerata inefficace dal punto di vista dei deflussi superficiali, in realtà non è completamente persa ai fini degli apporti alla rete idrografica. Una sua parte, sebbene dopo un processo di propagazione più lento, giunge al fondovalle fornendo il cosiddetto "deflusso profondo". L'entità di questi apporti nel tempo è notevolmente ridotta in termini di valori di picco, ma risultano non trascurabili in termini di volume complessivo e forniscono la cosiddetta curva di esaurimento del bacino.

Tra i diversi metodi esistenti in letteratura per giungere alla loro quantificazione, alcuni ipotizzano un comportamento stazionario e lineare in modo simile a quanto ipotizzato per i deflussi superficiali e quindi mirano a ricostruire un idrogramma unitario "profondo" rappresentativo del tempo di propagazione di questi apporti ricostruendo l'idrogramma finale mediante la risoluzione di un integrale di convoluzione.

Essendo diversa la velocità di propagazione verso la sezione di chiusura del bacino rispetto alla velocità che caratterizza il deflusso superficiale, non è consentito utilizzare lo stesso idrogramma unitario utilizzato per i deflussi superficiali. Nel caso in questione è stata ipotizzata la similitudine dei parametri di forma dei due idrogrammi unitari mentre il tempo di risposta dell'idrogramma profondo è stata amplificata di tre volte amplificando opportunamente il relativo parametro di scala.

- La frazione di precipitazione destinata ad alimentare il deflusso profondo è stata ipotizzata costante durante l'intero fenomeno.
-

5 ANALISI IDROLOGICA

Il ricorso a un modello matematico di trasformazione afflussi-deflussi richiede la conoscenza dell'entità e dell'andamento temporale degli apporti meteorici totali. Pertanto il primo passo di ogni analisi idrologica coincide con l'analisi delle caratteristiche pluviometriche del bacino con particolare riguardo alla capacità di produzione di fenomeni meteorici intensi.

Il modello matematico descritto nel precedente capitolo e costituito dagli algoritmi proposti dal SCS (metodo del Curve Number) e da Nash, permette la trasformazione delle precipitazioni meteoriche, con intensità variabili nel tempo, nei corrispondenti deflussi di piena nella rete idrografica. Il suo pratico utilizzo richiede la conoscenza di alcuni parametri matematici in grado di simulare il comportamento del territorio. Questi, in assenza di dati di monitoraggio in grado di rendere possibile la loro determinazione per taratura, possono essere correlati alle caratteristiche morfometriche ed idrogeologiche del bacino idrografico.

5.1 Regime pluviometrico intenso

Il ricorso ad un modello matematico di trasformazione afflussi-deflussi richiede la conoscenza dell'entità e dell'andamento temporale degli apporti meteorici totali. Pertanto il primo passo di ogni analisi idrologica coincide con l'analisi delle caratteristiche pluviometriche del bacino con particolare riguardo alla capacità di produzione di fenomeni meteorici intensi.

La capacità di generare eventi meteorici caratterizzati da elevate altezze di pioggia viene comunemente espressa correlando l'intensità della precipitazione alla sua frequenza di accadimento attraverso il parametro T_r (tempo di ritorno). Tale caratterizzazione climatica viene condotta per lo più mediante analisi di tipo statistico, basate sui valori delle piogge intense registrate dalle stazioni pluviometriche ubicate nel territorio, facendo riferimento ai massimi valori annuali e alle diverse durate di precipitazione normalmente poste pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Anche se i modelli probabilistici utilizzati allo scopo risultano numerosi, l'obiettivo delle elaborazioni è quello di giungere alla determinazione, per ciascuna stazione pluviometrica o per ciascuna zona elementare di territorio, dei parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica.

Per determinare l'afflusso meteorico relativo all'area oggetto di variante per assegnato tempo di ritorno e per diverse durate di precipitazione, si è fatto riferimento alle analisi condotte nella Valutazione di Compatibilità Idraulica del PAT del Comune di Feltre.

Nell'ambito dello studio, il territorio comunale è stato suddiviso in unità idrografiche. A ciascuna unità idrografica è stata assegnata una curva di possibilità climatica ottenuta come media pesata delle curve relative alle stazioni idrometriche di Pedavena, Feltre e Monte Avena, fornite dal Centro Meteorologico di Teolo (A.R.P.A.V.) già elaborate, scritte nella classica forma:

$$h(T_r) = a \cdot t_p^n$$

dove:

h = altezza di precipitazione [mm];

t_p = durata dell'evento [ore];

Per l'unità idrografica del Sonna Stizzon, in cui ricadono le aree di trasformazione oggetto del presente PI, i parametri a e n assumono i seguenti valori:

$$a=59$$

$$n=0.414$$

Come indicato nell'Allegato A della DGR 2948/2009, per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica si considera un tempo di ritorno di 50 anni, mentre per le elaborazioni condotte in merito alla pericolosità idraulica è stato assunto come rappresentativo un tempo di ritorno 100 anni.

5.2 Valutazione del Curve Number

Il metodo del SCS consente di calcolare la pioggia efficace mediante l'uso di un singolo parametro (CN) che caratterizza la risposta idrologica del sistema suolo-soprassuolo. Il CN può variare da 0 a 100: i valori bassi di CN identificano situazioni poco favorevoli alla formazione dei deflussi superficiali, mentre il valore 100 caratterizza le superfici completamente impermeabili USDA-SCS (1985). I valori di CN vengono quindi assegnati alle diverse combinazioni suolo-soprassuolo mediante incrocio delle informazioni relative all'uso del suolo e ai tipi idrologici di suolo. Il metodo del SCS classifica i suoli in quattro gruppi idrologici (A, B, C, D) caratterizzati da infiltrabilità decrescente.

Ricordando quanto riportato nel capitolo dedicato alla descrizione della morfologia del bacino, in particolare alla costituzione litologica dei versanti, allo sviluppo vegetazionale e all'uso del suolo, le caratteristiche idrologiche medie del bacino possono essere assimilate a quelle elencate nelle tabelle standard proposte dallo stesso SCS ai gruppi idrologici dei suoli di bassa infiltrabilità. Tale combinazione di suolo-soprassuolo suggerisce di attribuire al parametro Curve Number un valore pari a 50.

Al parametro IA (perdite iniziali) viene assegnato il valore di 0.5 S mm rappresentativo di una condizione iniziale di media saturazione del suolo. Si ipotizza, quindi, che il fenomeno meteorologico che alimenta il processo idrologico presenti una fase iniziale nella quale l'afflusso viene completamente assorbito dal terreno aumentando il grado di saturazione del suolo, e una seconda fase in cui ha inizio la produzione del deflusso superficiale. Si noti che in questo modo le precipitazioni di debole intensità e di modesta durata non sono in grado di innescare alcuno deflusso superficiale.

Infine, per tener conto degli effetti del deflusso profondo, si è assunto che il 5% della precipitazione totale contribuisca ad alimentare il deflusso profondo.

5.3 Il fattore di scala e di forma nel modello di Nash

La definizione dell'idrogramma unitario adimensionale di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo mediante l'equazione (2.5).

Per la stima di questi parametri è possibile ricorrere alle espressioni che li correlano al tempo di convulsione del bacino. Imponendo la coincidenza tra i tempi di ritardo (intervallo temporale in cui

transita il baricentro dell'idrogramma unitario) tra l'idrogramma triangolare e quello di Nash è possibile giungere alla correlazione tra i parametri. Osservato inoltre che i bacini montani assumono parametri di forma mediamente compresi tra 2 e 3, per il bacino in esame è stato assunto un valore $n = 2.5$. Di conseguenza la sopracitata correlazione porta ad assumere il parametro di scala pari a $k = T_c/6 = 0.44$.

La Figura 9 riporta l'andamento dell'idrogramma assunto come rappresentativo della risposta idrologica del bacino.

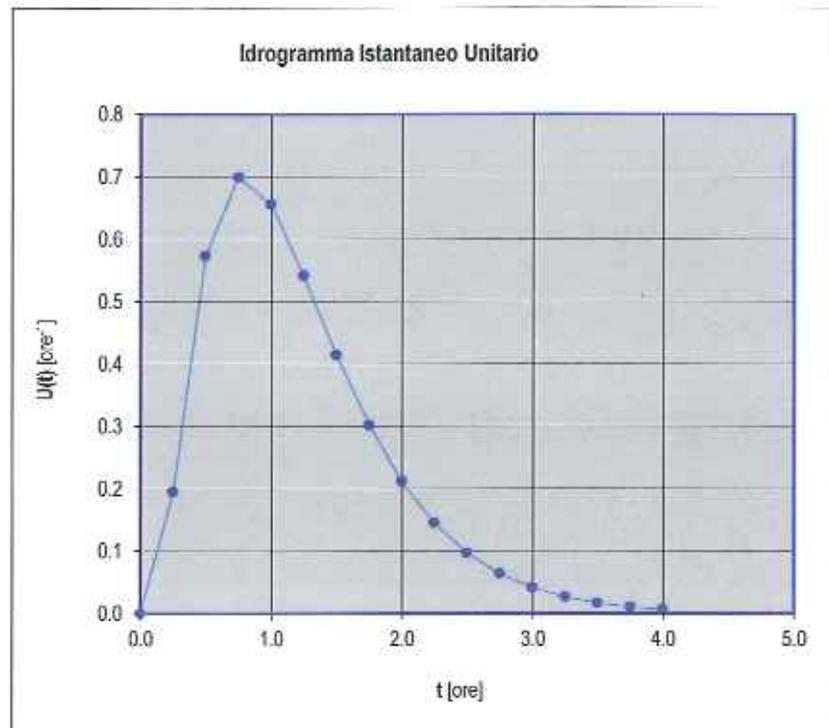


Figura 9 – Idrogramma istantaneo unitario rappresentativo della risposta idrologica del bacino del torrente Musil i

5.4 Ricostruzione degli idrogrammi di piena sintetici

La trasformazione degli idrogrammi di assegnata frequenza di accadimento possono essere trasformati nei corrispondenti deflussi lungo la rete idrografica mediante la stessa tecnica seguita per la ricostruzione degli eventi reali; agli idrogrammi di piena ottenuti è possibile assegnare la stessa frequenza probabile del fenomeno meteorico che lo ha generato.

Queste simulazioni sono state condotte per un fenomeno meteorico avente frequenza di accadimento pari a 100 anni, considerando diverse durate di pioggia in modo da evidenziare il fenomeno più critico per il bacino.

A tal proposito è bene evidenziare che, adottando il metodo del Curve Number, il tempo di pioggia critico non coincide con il tempo di corrivazione come previsto dalla nota ipotesi alla base del metodo razionale.

Il progredire della precipitazione e il conseguente aumento del grado di saturazione del terreno portano a un aumento del coefficiente di deflusso c , di conseguenza, i fenomeni prolungati nel tempo tendono a diventare più gravosi. I risultati sono stati graficati in figura 14.

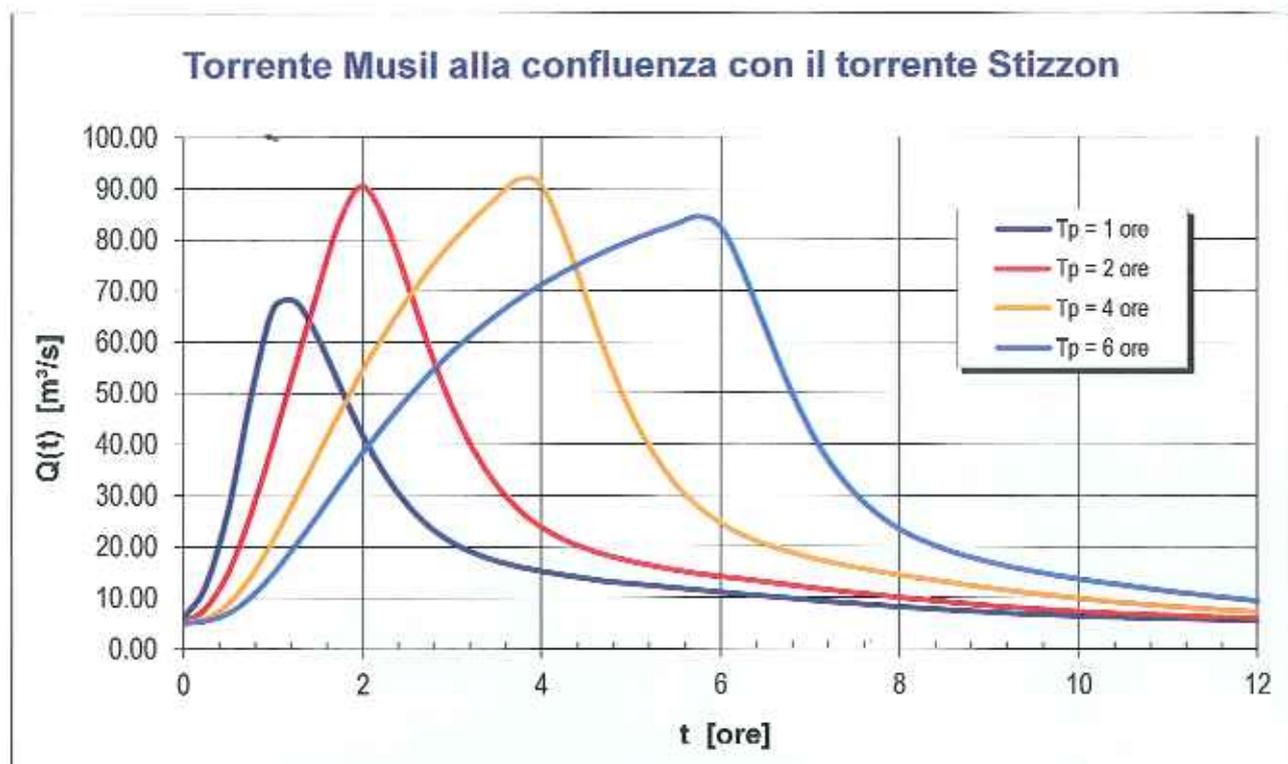


Figura 10 – Idrogrammi di piena generali da precipitazioni di diversa durata con tempo di ritorno pari a 50 anni

Come riportato in Tabella 2, l'evento che ha generato la massima portata di picco è risultato quello di durata 3 ore, con una portata massima di 91.78 m³/s

Tabella 2 – Portate di massima piena

| Durata precipitazione [ore] | Portata di picco [m ³ /s] |
|--------------------------------|---|
| 1 | 67,90 |
| 2 | 90,44 |
| 4 | 91,78 |
| 6 | 84,44 |

6 IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PIAVE

6.1 Il concetto di rischio

Con il termine di rischio, ed in riferimento a fenomeni di carattere naturale, si intende il prodotto di tre fattori:

- la pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso (P); la pericolosità di un elemento va pertanto riferita al periodo di ritorno T, che esprime l'intervallo di tempo nel quale l'intensità dell'evento calamitoso viene superata mediamente una sola volta;
- il valore degli elementi a rischio intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale (E);
- la vulnerabilità degli elementi a rischio (V), cioè l'attitudine a subire danni per effetto dell'evento calamitoso.

Generalmente il rischio può esprimersi mediante un coefficiente compreso tra 0 (assenza di danno o di pericolo) e 1 (massimo pericolo e massima perdita). Si definisce il danno il prodotto del valore del bene per la sua vulnerabilità:

$$D = E \times V$$

In definitiva "la formula che descrive il rischio" assume il seguente aspetto:

$$R = P \times E \times V = P \times D.$$

Pertanto, si può dire che il rischio sia la combinazione di un certo livello di danno potenziale con certo livello di pericolosità.

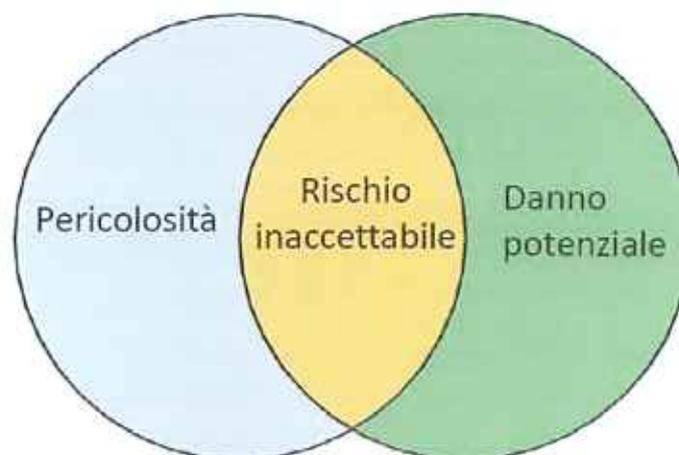


Figura 11 – Il concetto di rischio

La mitigazione del rischio si attua operando su questi due termini (mitigando la pericolosità e/o il danno potenziale).

6.2 Perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica

Al fine di caratterizzare l'effettiva attitudine delle aree oggetto di studio ad essere soggetta ai fenomeni di esondazione, è necessario fare riferimento ai documenti ufficiali di pianificazione a scala di bacino redatti da parte dell'autorità idraulica competente. Nel caso in esame il documento di riferimento è il "Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione" (PAI) realizzato dall'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2004) aggiornato nel giugno 2007 e adottato in via definitiva nel Novembre 2012 con delibera n.3 del Comitato istituzionale.

La fase propositiva del (PAI) descrive le modalità con le quali il piano, sulla base degli "Atti di indirizzo e di coordinamento" di cui al D.P.C.M. 29.9.1998, ha inteso affrontare le problematiche di cui alla L. 267/1998 e della L. 365/2000.

In tal senso il PAI definisce, quali fondamentali punti di partenza, la caratterizzazione del territorio in termini di pericolosità (effetti sulla pianificazione del territorio), nonché la schematizzazione da attribuire al territorio in funzione dell'uso (programmazione per la rimozione delle cause e la mitigazione degli effetti).

Pertanto, già in fase di classificazione del territorio, in termini di pericolosità, si può stabilire una priorità di interventi che, in sede di classificazione del territorio in termini di rischio, potrà essere ulteriormente affinata. La cartografia allegata al PAI, riporta la perimetrazione delle aree aventi pericolosità idraulica differenziandole per livello di pericolosità, le aree fluviali e le "zone di attenzione" per le quali vi sono informazioni di possibili situazioni di dissesto a cui non è ancora stata associata alcuna classe di pericolosità e che sono individuate in cartografia con apposito tematismo e le relative norme tecniche sulle aree perimetrate che devono essere recepite dagli strumenti urbanistici di scala inferiore.

Relativamente alle citate zone di attenzione, l'associazione delle classi di pericolosità, avviene secondo le procedure indicate all'art.6 delle Norme Tecniche di Attuazione di PAI.

Nel caso in esame, l'area oggetto della presente variante ricade nella Tavola 60, come indicato nel quadro di unione in Figura 12.

In particolare, come indicato in Figura 13 e in Figura 14, che riportano le aree perimetrate da PAI, l'area oggetto della presente variante urbanistica è adiacente ad un'area perimetrata come "Zona di attenzione idraulica".

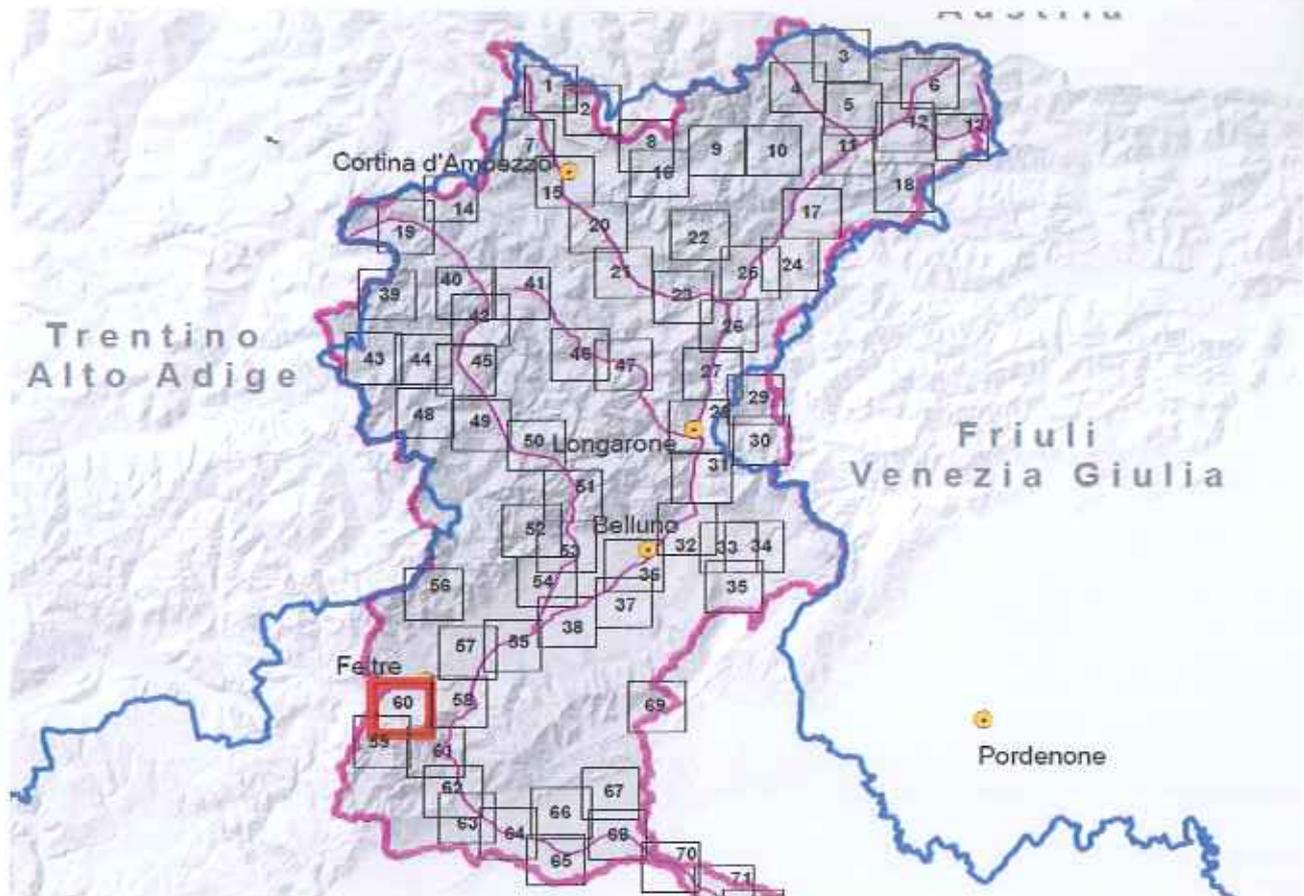


Figura 12 — Quadro di unione della carta del PAI idraulico del fiume Piave con evidenziata la tavola 60



Figura 13 — Stralcio della tavola 60 di PAI idraulico che riporta l'area oggetto della presente variante



Figura 14 – Sovrapposizione tra l'area oggetto di variante e zona di attenzione perimetrata dal PAI idraulico

7 PERICOLOSITA' E RISCHIO IDRAULICO

Come precedentemente accennato, per permettere l'associazione delle classi di pericolosità idraulica nelle aree definite come "Zone di attenzione" dal PAI del fiume Piave secondo le procedure indicate all'art.6 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI, è stata condotta un'indagine mediante modello idraulico. In particolare, l'analisi idraulica del torrente Musil alla confluenza con il torrente Stizzon e la conseguente mappatura delle aree a pericolosità idraulica ha richiesto l'applicazione di un modello bidimensionale a moto vario. Si vuole di seguito descrivere come si è schematizzato il sistema in ambiente modellistico con il modello TUFLOW, le cui caratteristiche sono descritte rispettivamente nell' Appendice A del presente elaborato.

7.1 Implementazione del modello

Le caratteristiche del modello TUFLOW, utilizzato per la modellazione idraulica del presente studio, sono riportate in Appendice A alla presente Relazione. Per la validazione del modello si può fare riferimento ai test sui vari software di modellazione idraulica bidimensionale disponibili sul mercato eseguiti dall'agenzia governativa del Regno Unito "UK Environmental Agency" nell'anno 2010 (Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling), scaricabili dal seguente link:

<http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SCHO0510BSNO-e-e.pdf>

<http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SCHO0510BSNP-E-E.pdf> (sintesi)

7.2 Base topografica

Tenuto conto degli obiettivi dell'indagine, per la caratterizzazione dell'area di intervento, è stato acquisito il DTM a maglia 5 m dell'area dal geoportale della Regione del Veneto (<http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm>). Tali informazioni sono state integrate con un rilievo topografico appositamente svolto in sito. La seguente Figura 15 illustra graficamente il DTM ottenuto:



Figura 15 - Carta delle pendenze e area in variante

7.3 Geometria del modello

Con l'ausilio degli strumenti di pre e post processing presenti nel sistema GIS in uso, il tratto fluviale oggetto di studio è stato schematizzato con una griglia di 35 000 celle quadrate di lato 2 m, rappresentata in Figura 16.



Figura 16 - Modello bidimensionale dell'area di intervento

Come di seguito descritto, la presenza del torrente Stizzon a valle, non coperto da rilievo, è stata schematizzata con un livello di lama d'acqua costante, mentre la riva sinistra del Musil è stata considerata impermeabile in favore di sicurezza.

Le celle di calcolo sono composte da 11 punti di calcolo ciascuna, un punto ZC per il calcolo del livello idrometrico, 2 punti ZU per calcolo delle velocità lungo x, 2 punti ZV per le velocità lungo y e 4 punti ZH con significato esclusivamente grafico per la restituzione dei risultati (Figura 17 e Figura 18).

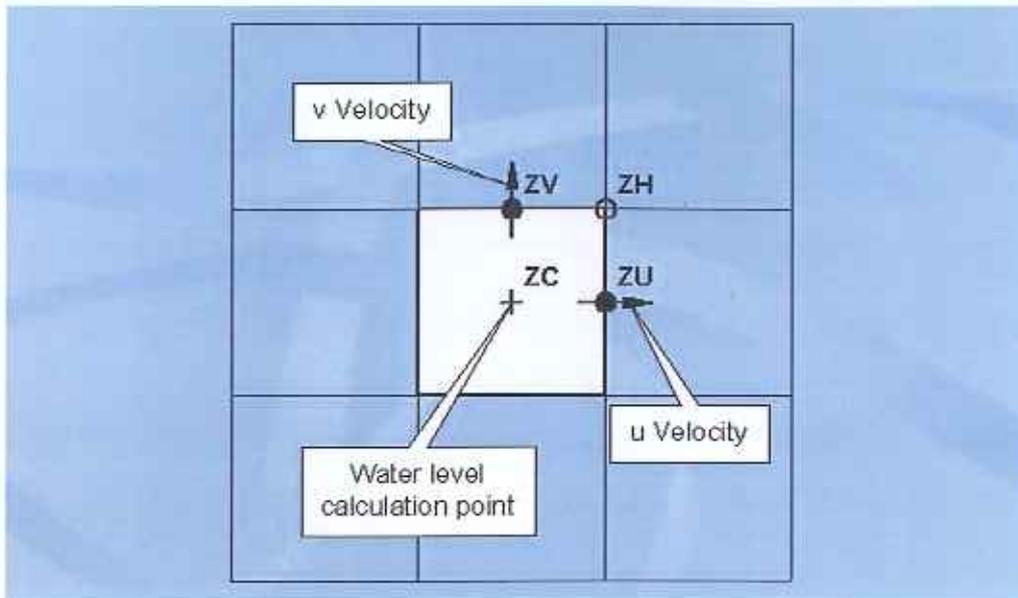


Figura 17 -Schema di una cella di TUFLOW

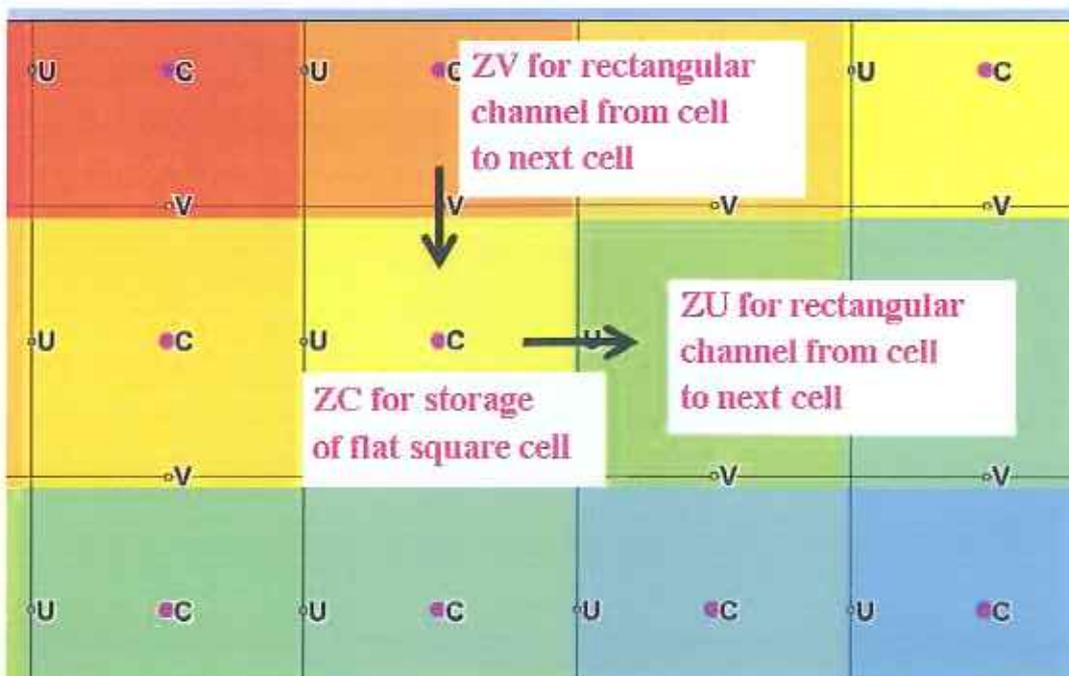


Figura 18 -Link tra le celle

7.4 Scabrezza dell'alveo

Anche l'assegnazione della scabrezza è stata definita nel dettaglio con coefficienti di scabrezza opportunamente tarati sulle caratteristiche fisiche della superficie. Per quanto riguarda, infine, i coefficienti di scabrezza, in mancanza di valori sperimentali specifici dedotti sulla base di apposite indagini, si è fatto riferimento ai dati di letteratura e a quelli utilizzati con soddisfacenti risultati in analoghe simulazioni numeriche condotte su ambienti fluviali di analoghe caratteristiche. Come descritto nel seguente capitolo, per la definizione del coefficiente di scabrezza è stata svolta un'analisi di sensibilità che ha condotto all'assegnazione di un coefficiente di Strickler pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n=0.04$) per i filoni d'alveo e $16.67 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n=0.06$) per le golene vegetate.

7.5 Condizioni al contorno

In analogia con quanto indicato nell'Allegato A alla DGR 2948/2009, l'evento preso come riferimento per la verifica di sicurezza dell'area è la piena con tempo di ritorno 100 anni.

Le portate in ingresso nel modello del torrente Musil chiuso alla confluenza con il torrente Stizzon sono state schematizzate con l'idrogramma corrispondente al tempo di precipitazione che fornisce la portata massima, determinato nel precedente paragrafo 5.

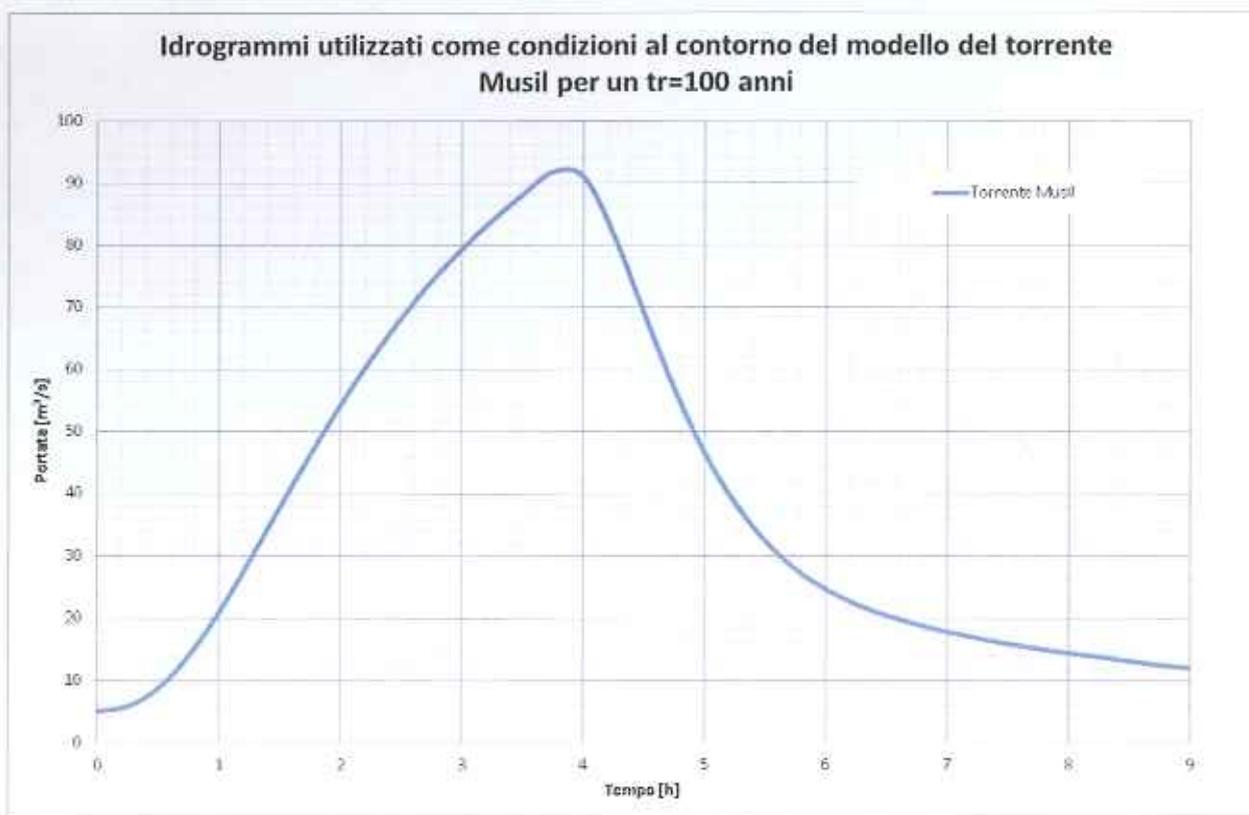


Figura 19 - Condizione al contorno di monte

Relativamente alla condizione di valle del modello del torrente Musil, è stato assunto un livello idrometrico variabile con picco 263,10 m slm nell'istante di massima piena, in corrispondenza della sezione denominata "CHIUSURA MODELLO". Tale livello corrisponde alla sezione del torrente Stizzon "a piene rive", cioè piena fino alla sua capacità di dellusso. Nella seguente Figura 20 si riporta lo schema di sintesi delle condizioni al contorno applicate.

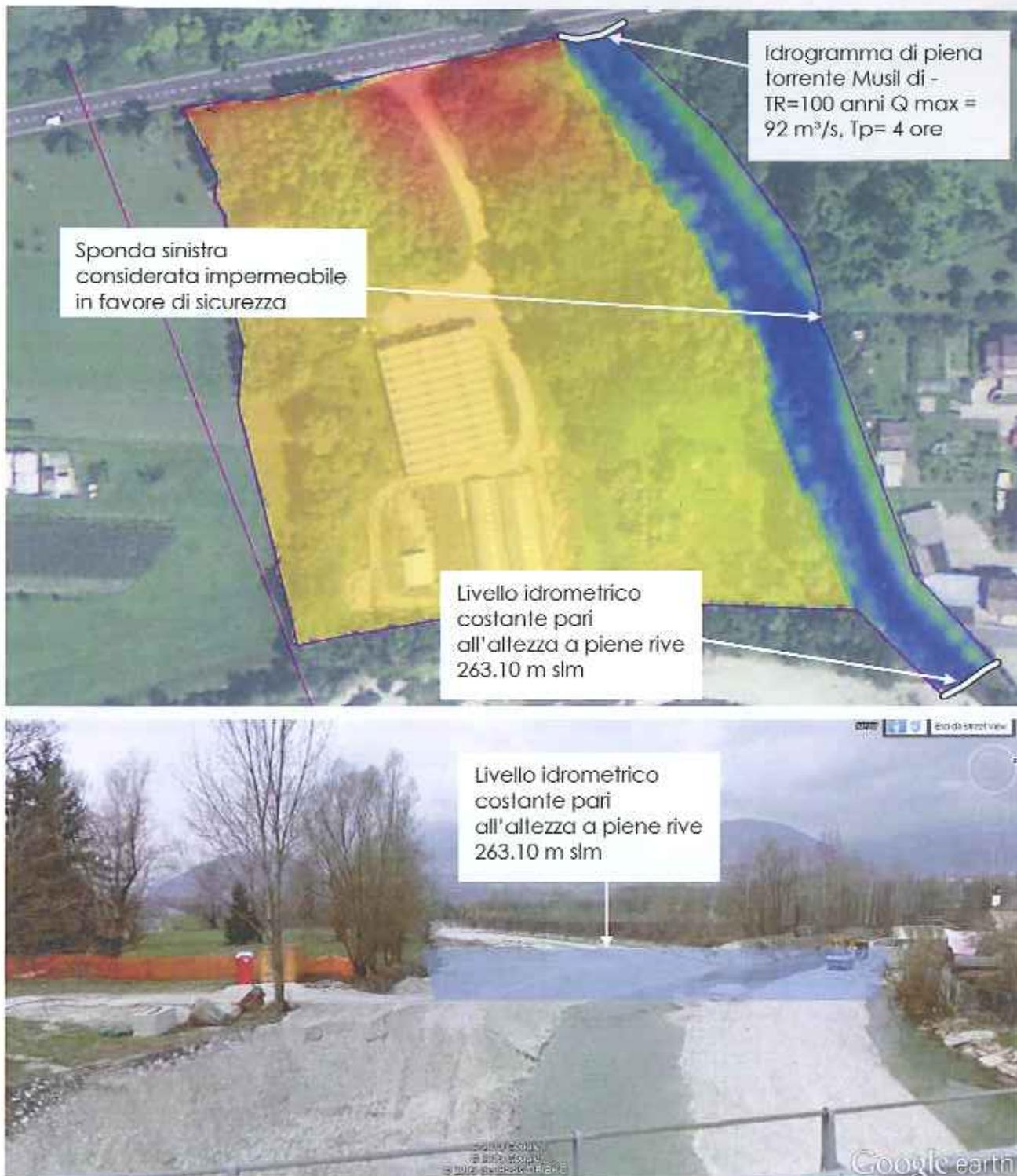


Figura 20 - Condizioni al contorno del modello del torrente Musil alla confluenza con il torrente Stizzon

7.6 Risultati delle simulazioni

Il modello bidimensionale ha consentito di visualizzare per ogni istante di calcolo la mappa delle altezze d'acqua, velocità, portate e livelli idrici nel tempo.

Come indicato nelle figure che seguono, in occasione della piena di progetto il torrente Musil tende a occupare la propria riva destra, lambendo l'area di intervento che, in realtà, non viene interessata dall'allagamento. Infatti la conformazione attuale del terreno è tale che le portate

fuoriuscite dall'alveo tendono a rientrare nel corso d'acqua nella fase calante della piena simulata. Come si può vedere dalle seguenti figure, i massimi tiranti idraulici registrati dall'esondazione, vanno dai 50 cm nell'area prossima all'alveo per raggiungere livelli di qualche centimetro man mano che ci si avvicina all'area di intervento (Figura 21).

Le velocità di deflusso in alveo raggiungono valori massimi di 2.8 m/s mentre nella zona esondata non superano i 2 m/s, come indicato in (Figura 22).

Si può seguire l'evolversi della simulazione numerica nel tempo in termini di tiranti idraulici al suolo, livelli idrometrici e velocità di deflusso cliccando nei seguenti link:

http://www.youtube.com/watch?v=Ph791hLpp_Q

http://www.youtube.com/watch?v=QAtrio_EIRA

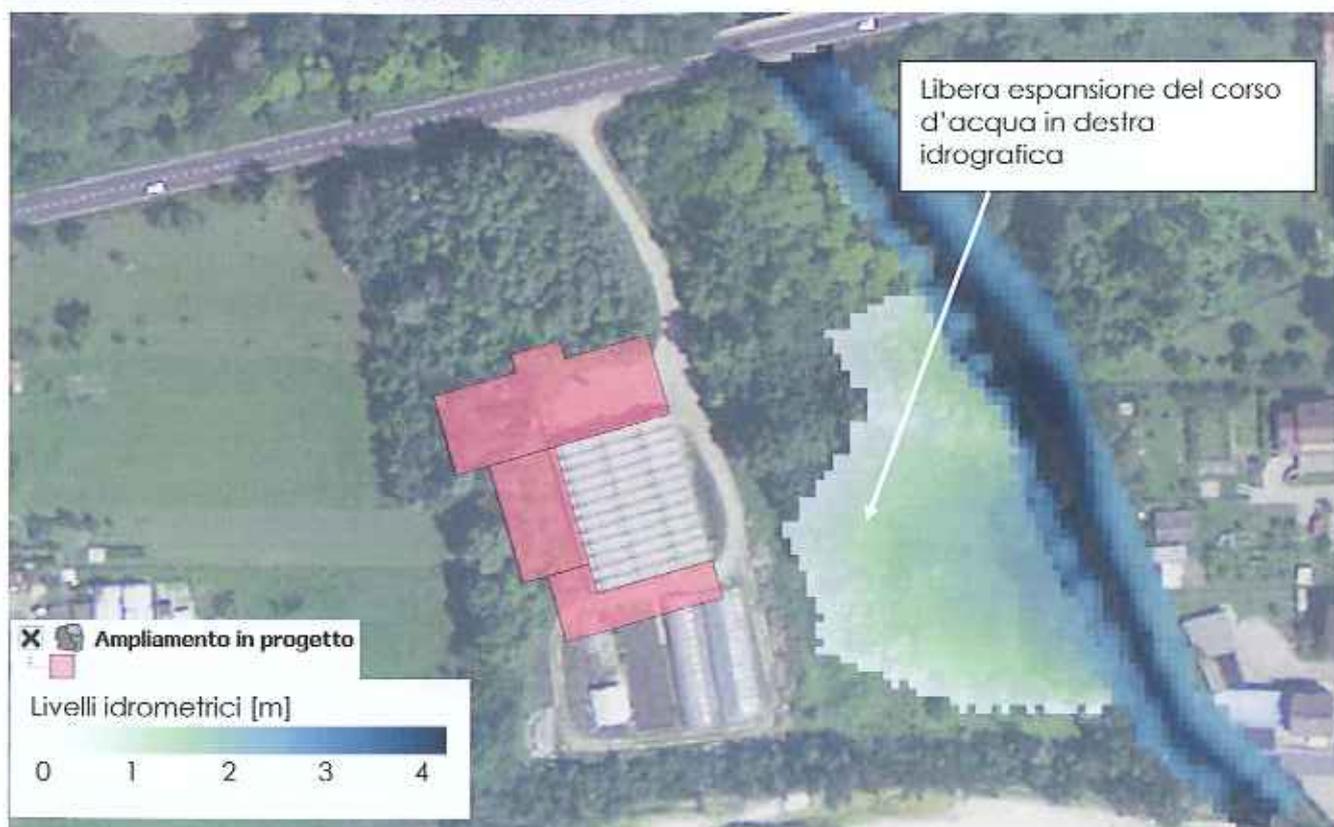


Figura 21 - Torrente Musil in corrispondenza dell'area di intervento – inviluppo dei massimi tiranti idraulici registrati in occasione dell'evento di piena con $t_r=100$ anni

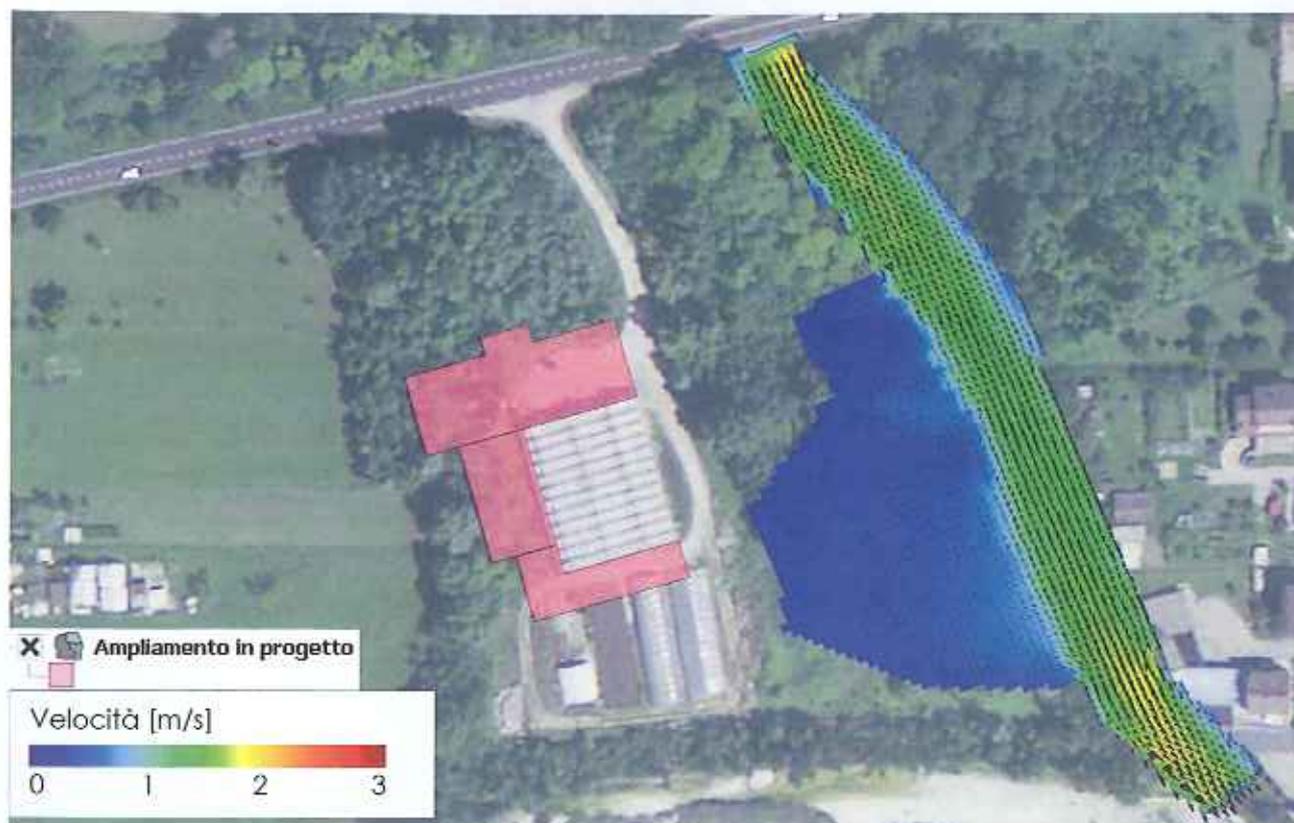


Figura 22 - Torrente Musil alla confluenza con il t. Stizzon - involucro delle velocità massime registrate in occasione dell'evento di piena con $t_r=100$ anni

7.7 Perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica

Per permettere l'associazione delle classi di pericolosità idraulica nelle aree oggetto di studio si è fatto riferimento a quanto indicato nel PAI relativamente alle "zone di attenzione". Secondo tali procedure, indicate all'art.6 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI, è stata condotta un'indagine secondo il criterio idrodinamico.

Relativamente all'individuazione delle aree fluviali, nel caso di alvei a fondo mobile dotati di notevole mobilità laterale, come nel caso dei torrenti di montagna, essa non può basarsi sul concetto di piena ordinaria, poiché non è in grado di rappresentare la dinamica evolutiva del corso d'acqua. Da ciò deriva l'esigenza di fondare i metodi di individuazione delle aree fluviali sul criterio geomorfologico, quale strumento per riconoscere le forme del corso d'acqua, e sul criterio idrodinamico, per valutarne l'intensità anche a carattere locale.

Pertanto, in analogia con quanto riportato nella relazione tecnica di PAI (Comitato Istituzionale 9 Novembre 2012), le aree di pericolosità idraulica sono state perimetrare mediante l'applicazione del criterio idrodinamico, mentre le aree fluviali sono state individuate mediante il criterio geomorfologico.

I risultati delle elaborazioni condotte sono riportate nell'allegato elaborato grafico in termini di pericolosità idraulica, classificati secondo il tirante idraulico massimo registrato durante le simulazioni condotte secondo la tabella di seguito riportata:

Tabella 3 - Classi di pericolosità utilizzate nella perimetrazione delle aree

| | |
|---|--|
|  | F - AREA FLUVIALE - metodo geomorfologico e/o $H_{max} > 1.00$ m |
|  | P1 - PERICOLOSITA' IDRAULICA MODERATA $0.00 < H_{max} < 0.25$ m |
|  | P2 - PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA $0.25 < H_{max} < 0.50$ m |
|  | P3 - PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA $0.50 < H_{max} < 1.00$ m |

L'applicazione di tali criteri ha permesso la redazione della carta della pericolosità idraulica riportata nell'elaborato 2 del presente studio, di cui si riporta uno stralcio nella seguente figura



Figura 23 - Carta della pericolosità idraulica redatta nel presente studio, riportata nell'elaborato 2

8 APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Secondo il principio dell'invarianza idraulica, previsto dall'Allegato A della 2948/2009 "Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici Modalità operative e indicazioni tecniche", deve essere prevista l'adozione di misure di mitigazione del rischio idraulico allo scopo di trattenerne le acque piovane per il tempo necessario a consentire un regolare smaltimento nella rete fognaria.

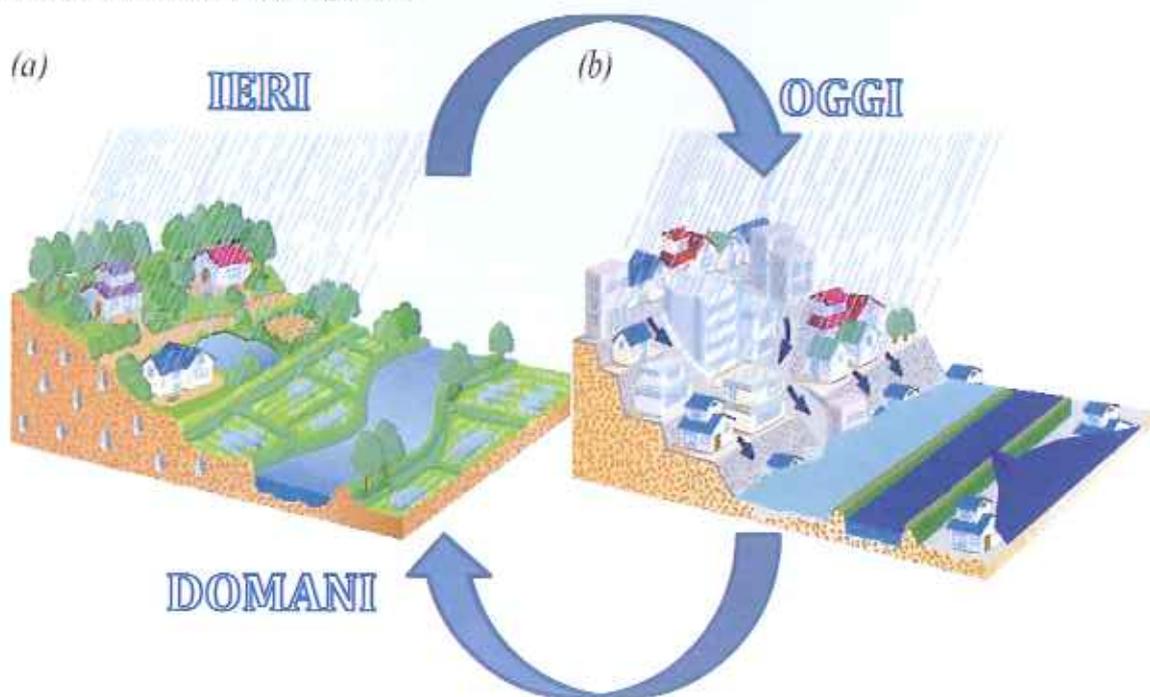


Figura 24 – Principio dell'invarianza idraulica

Relativamente a questo aspetto, come indicato nell'elaborato A.03 di progetto, di cui si riporta uno stralcio in Figura 25, si prevede di convogliare le acque di dilavamento provenienti dalle coperture in una vasca a tenuta destinata al riutilizzo mediante pompaggio per l'irrigazione delle piante presenti nella serra.

Per tale motivo, non si prevede la realizzazione di alcuna canalizzazione e/o scarico delle acque verso un corpo recettore, ma i deflussi verranno dispersi direttamente nel terreno circostante.

Pertanto, ai sensi della DGRV n 2948/2009, non risulta necessaria l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica.

Tuttavia, per evitare che la centrale termica in progetto venga danneggiata dalle acque meteoriche di ristagno nel caso di malfunzionamento della vasca di accumulo, il piano d'imposta del fabbricato dovrà essere fissato ad una quota superiore rispetto al piano campagna.

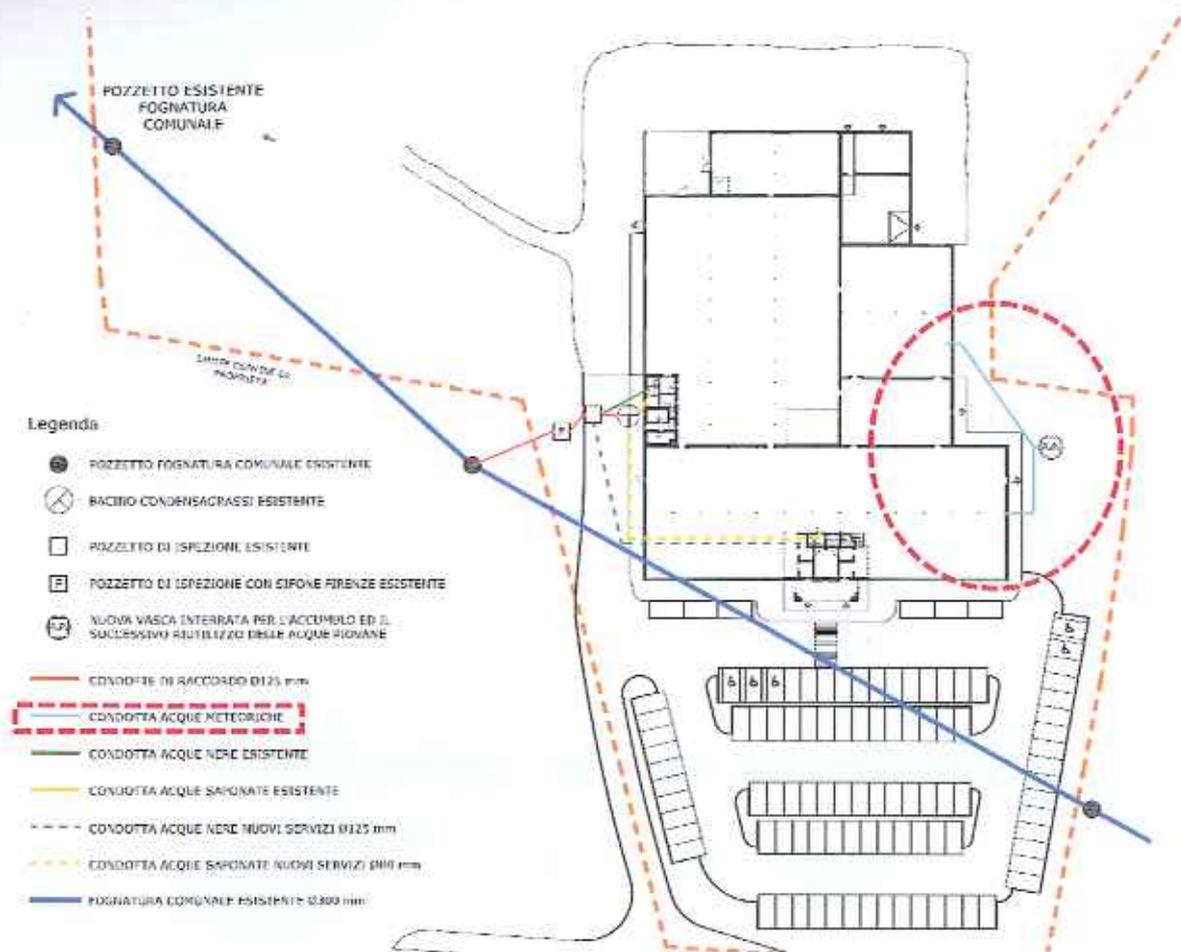


Figura 25 – Stralcio dell'elaborato A3 di progetto in cui sono indicate le reti di captazione e smaltimento delle acque meteoriche

9 CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini condotte, descritte nei precedenti paragrafi si conclude che:

1. L'area oggetto di variante si trova in sicurezza idraulica rispetto alla piena centenaria del torrente Musil;
2. Gli interventi in variante sono compatibili con quanto indicato nelle NTA del Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Piave adottato in via definitiva nel Novembre 2012 con delibera n.3 del Comitato istituzionale, in quanto non ricadono in aree perimetrate.
3. La variante non prevede il ricorso a dispositivi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica (D.G.R.V. 2948/2009) in quanto le azioni da essa previste non comportano la realizzazione di alcuna canalizzazione e/o scarico delle acque verso un corpo recettore. Infatti, i deflussi verranno captati e riutilizzati nel processo produttivo che si svolge nel nell'immobile in ampliamento.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2007) – Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione - Comitato Istituzionale 09.11/2012;

Coccatto M., A. Baccato, G. Andreella (2008) - Lo studio di compatibilità idraulica nella vigente normativa regionale - FOIV Ingegneri del Veneto, Periodico di informazione della Federazione Regionale degli ordini degli ingegneri del Veneto - numero 24 - dicembre 2008

Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto (2009) – Valutazione di Compatibilità Idraulica – Linee Guida.

Zollet Service Scarl, Beta Studio srl Bioprogramm Scarl e CNR IDPA (2002) – "Piano di attività e ripristino del torrente Cisonon"

Soil Conservation Service (1972): National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. U.S.

APPENDICE A – IL MODELLO MATEMATICO TUFLOW

Il modello idraulico TUFLOW per lo studio della propagazione delle onde di piena è prodotto da WBM Oceanics Australia (<http://www.tufLOW.com/>).

Esso è costituito dal modello numerico TUFLOW 2D integrato con il modello monodimensionale ESTRY ed è stato progettato per la simulazione idraulica delle onde di piena in un dominio geometricamente complesso, costituito da porzioni in cui è appropriato schematizzare la rete idrografica mediante una rete monodimensionale e porzioni in cui le assunzioni di monodimensionalità del moto vengono a cadere. In questo caso il moto idraulico viene simulato mediante un modello matematico bidimensionale.

Più precisamente, nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostri insufficiente a contenere la portata in arrivo, il volume in eccesso viene trasferito mediante opportuni link, istante per istante, al territorio latitante che viene rappresentato attraverso uno schema a griglia. Il deflusso attraverso le aree esterne all'alveo viene calcolato dal modello TUFLOW 2D, bidimensionale puro.

TUFLOW 2D e ESTRY, integrati nel pacchetto TUFLOW, costituiscono un potente strumento per studi di previsione e propagazione delle onde di piena, l'ottimizzazione di reti di drenaggio, la progettazione di sistemi fognari, gli studi di qualità dell'acqua.

TUFLOW non dispone di una propria interfaccia grafica, ma utilizza programmi GIS e altri software, anche open source, per la creazione, elaborazione e visione dei dati. Questi software sono:

- un GIS che può importare/esportare .mif/.mid files;
- un programma per la modellazione 3D delle superfici per la creazione e interrogazione di un DTM, e per importare superfici 3D riguardanti i livelli, le profondità, etc. dell'acqua;
- SMS (Surfacewater Modelling System – www.emsi.com) oppure WaterRIDE (www.waterride.net) per la visualizzazione dei risultati e la creazione di animazioni.
- Un editor di testi
- Un foglio di calcolo elettronico del tipo di Microsoft Excel.
- Un software come MIKE 11, ISIS o Hec Ras per gestire e creare sezioni 1D (TUFLOW e ESTRY leggono i dati delle sezioni elaborate da questi programmi sottoforma di files testo).

La combinazione dei programmi sopra descritta offre un sistema per la modellazione idraulica 2D/1D molto potente .

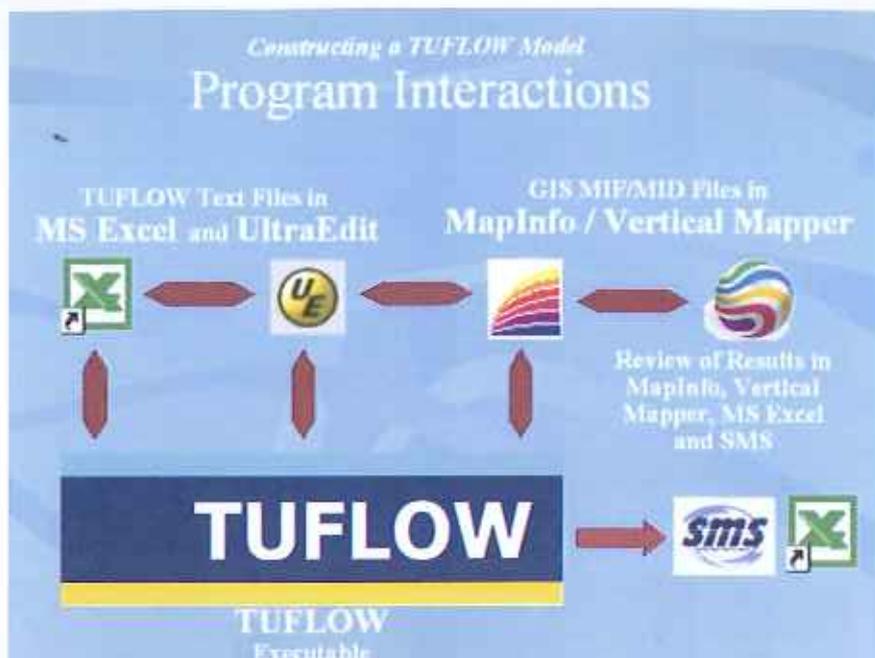


Figura 1- Schema delle interazioni tra i programmi utilizzati

L'approccio di tipo GIS offre molti benefici, alcuni dei quali sono di seguito elencati:

- La possibilità di lavorare direttamente in un ambiente "aperto" come il GIS;
- La presenza di una gran quantità di strumenti per la gestione dei dati, direttamente utilizzabili nella fase di costruzione del modello;
- Georeferenziazione di tutti i dati, con la possibilità di cambiare le dimensioni delle celle 2D in modo immediato;
- Maggior efficienza nella produzione di mappe, report, brochure, filmati etc;
- Possibilità di fornire al cliente tutti i dati e i risultati in formato GIS ;
- Maggior facilità di comprensione del processo di modellazione da parte del modellista, del cliente e dei portatori di interesse.

A.1 TUFLOW

TUFLOW è un programma per la simulazione di deflussi mono e bi dimensionali per lo studio di piene e maree. TUFLOW, è stato originariamente sviluppato per flussi bidimensionali (2D) ,il suo anagramma sta per **T**wo **d**imensional **U**nsteady **F**LOW. Esso incorpora tutte le funzioni di ESTRY 1D sia monodimensionale che quasi2D, basato sulle equazioni monodimensionali del moto a pelo libero.

Il completo algoritmo di soluzione 2D, creato da Stelling 1984 sviluppato da Syme 1991, risolve equazioni bidimensionali di continuità e conservazione della quantità di moto per superfici libere. Il software è stato sviluppato come progetto di ricerca dalla WBM Oceanics Australia e dall'Università di Queensland nel 1990. Il progetto è stato successivamente ampliato aggiungendo una connessione dinamica 2D/1D (Syme 1991). I successivi miglioramenti dal 1998 ad oggi si sono focalizzati sulle strutte idrauliche, modellazione del flusso, connessione tra le strutture 2D/1D e

l'utilizzo del GIS per la gestione dei dati (Syme 2001a, Syme 2001b). TUFLOW è anche stato oggetto di numerosi tests da parte della WBM Pty Ltd e altri (Barton 2001, Huxley, 2004).

TUFLOW è sostanzialmente orientato a stabilire il percorso del flusso delle acque lungo coste, estuari, rive, aree soggette ad allagamenti e urbanizzate dove i percorsi del flusso in natura sono essenzialmente 2D e non è possibile o sarebbe complicato rappresentarle utilizzando una modellazione 1D.

Una notevole potenzialità di TUFLOW è la sua capacità di connettersi dinamicamente con il programma idrodinamico 1D (quasi2D) ESTRY. L'utente configura un modello come una combinazione di domini monodimensionali 1D connessi con un domini bidimensionali 2D. Vale a dire che i domini 2D e 1D sono collegati per formare un unico modello. TUFLOW risolve le equazioni delle acque basse (SWE). Le SWE sono equazioni di flusso utilizzate per modellare le onde lunghe come ad es. flussi, maree e moti ondosi. Esse sono state ottenute utilizzando le ipotesi di velocità verticale ed orizzontale uniforme ed accelerazione verticale trascurabile (cioè una distribuzione idrostatica di pressione). Queste semplificazioni sono valide dove la lunghezza d'onda è molto più grande della profondità dell'acqua. Nel caso di onde oceaniche le SWE sono applicabili ovunque. Le 2D SWE nel piano orizzontale sono descritte dalle seguenti equazioni differenziali di conservazione della massa e del conservazione della quantità di moto in direzione X e Y in un piano cartesiano di riferimento.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad \text{(Continuità 2D)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x \quad \text{(Conservazione della}$$

quantità di moto x)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y \quad \text{(Conservazione della}$$

quantità di moto y)

Dove:

u e v = velocità specifiche medie in direzione x e y;

ζ = livello idrometrico;

H = tirante idraulico

t = tempo;

x e y = distanza in direzione x e y;

c_f = coefficiento di Coriolis;

C = coefficiente di Chezy

μ = coefficiente di diffusione orizzontale della quantità di moto;

p = pressione atmosferica;

ρ = densità dell'acqua;

F_x e F_y = risultante delle forze esterne (ad esempio il vento) applicate in direzione x e y.

A.2 ESTRY

ESTRY è un potente programma a moto vario adatto per la modellazione matematica di flussi e maree (e/o moti ortodosi). Il programma è stato sviluppato dalla WBM Oceanics Australia da più di trentacinque anni ed è stato successivamente applicato in centinaia di studi partendo dalle applicazioni ad un canale singolo per arrivare fino alle più complesse quasi2D.

Il modello si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di moto vario dei fluidi (conservazione della quantità di moto e continuità), e include i termini inerziali.

$$\frac{\partial(uA)}{\partial x} + B \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad \text{(Equazione di continuità)}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + k |u| u = 0 \quad \text{(Conservazione della quantità di moto)}$$

Dove:

u = velocità specifica media;

ζ = livello idrometrico;

t = tempo;

x = distanza;

A = area della sezione di deflusso;

B = larghezza della lama d'acqua;

k = coefficiente per le perdite continue = $\frac{gn^2}{R^{4.3}}$

n = coefficiente di scabrezza di Manning;

R = raggio idraulico

g = accelerazione di gravità;

La soluzione monodimensionale in TUFLOW usa la tecnica di soluzione alle differenze finite, di secondo ordine, di RungeKutta (Morrison and Smith, 1978) per le equazioni 1D SWE di continuità e conservazione della quantità di moto come mostrato dalle seguenti equazioni. In aggiunta ai canali a pelo libero, sono disponibili per la modellazione le seguenti opere idrauliche:

- Scatolari multipli circolari o rettangolari;
- Ponti, pile da ponte;
- Briglie, canalette di scolo lato strada, arginature etc.;
- Strutture definite dall'utente.

A.3 Accoppiamento dei modelli

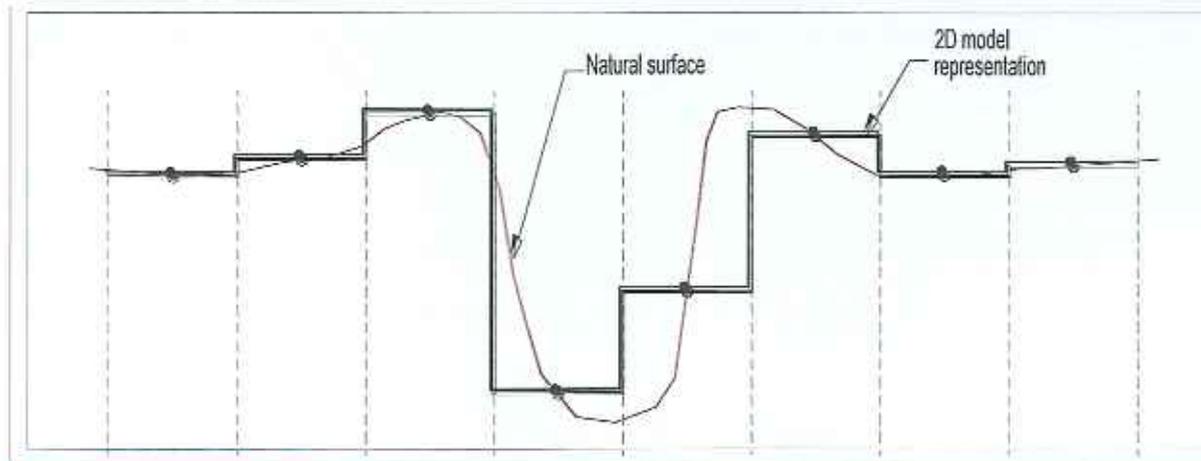
TUFLOW risolve simultaneamente la rete monodimensionale (mediante ESTRY) e uno o più domini bidimensionali fornendo un'accurata simulazione idrodinamica dei fenomeni di piena e dell'allagamento delle aree adiacenti ai corsi d'acqua.

Il modello fornisce inoltre informazioni non solo sui volumi esondati e sulle altezze d'acqua

raggiunte sul piano campagna, ma anche la stima delle velocità raggiunte durante il fenomeno alluvionale e dei tempi di sussistenza della piena.

In particolare la modellazione dell'alveo del corso d'acqua avviene secondo uno schema monodimensionale implementato in ESTRY.

In questo modo le caratteristiche dell'alveo di morbida sarà rappresentato con la necessaria precisione laddove una modellazione bidimensionale pura comporterebbe una perdita di informazioni significativa (figura 2).



Figura

2 - Esempio di una rappresentazione bidimensionale poco accurata di un corso d'acqua

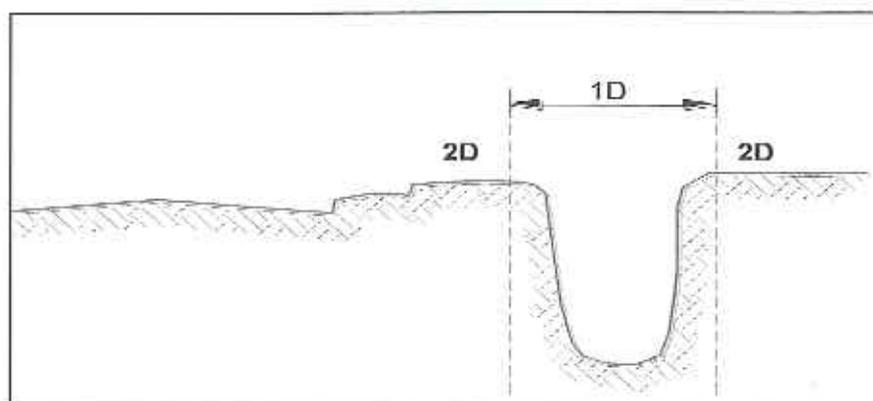


Figura 3- Esempio di modellazione mono-bidimensionale

Nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostrasse insufficiente a contenere la portata in arrivo, mediante opportuni link il volume in eccesso viene trasferito, istante per istante, al territorio latistante che viene rappresentato attraverso uno schema a griglia ricavato da opportune elaborazioni condotte sul DTM. Il deflusso attraverso tali aree viene calcolato dal modello TUFLOW, bidimensionale puro. In Figura 4 sono riportati gli schemi dei possibili meccanismi di link per l'accoppiamento dei due modelli (1D/2D).

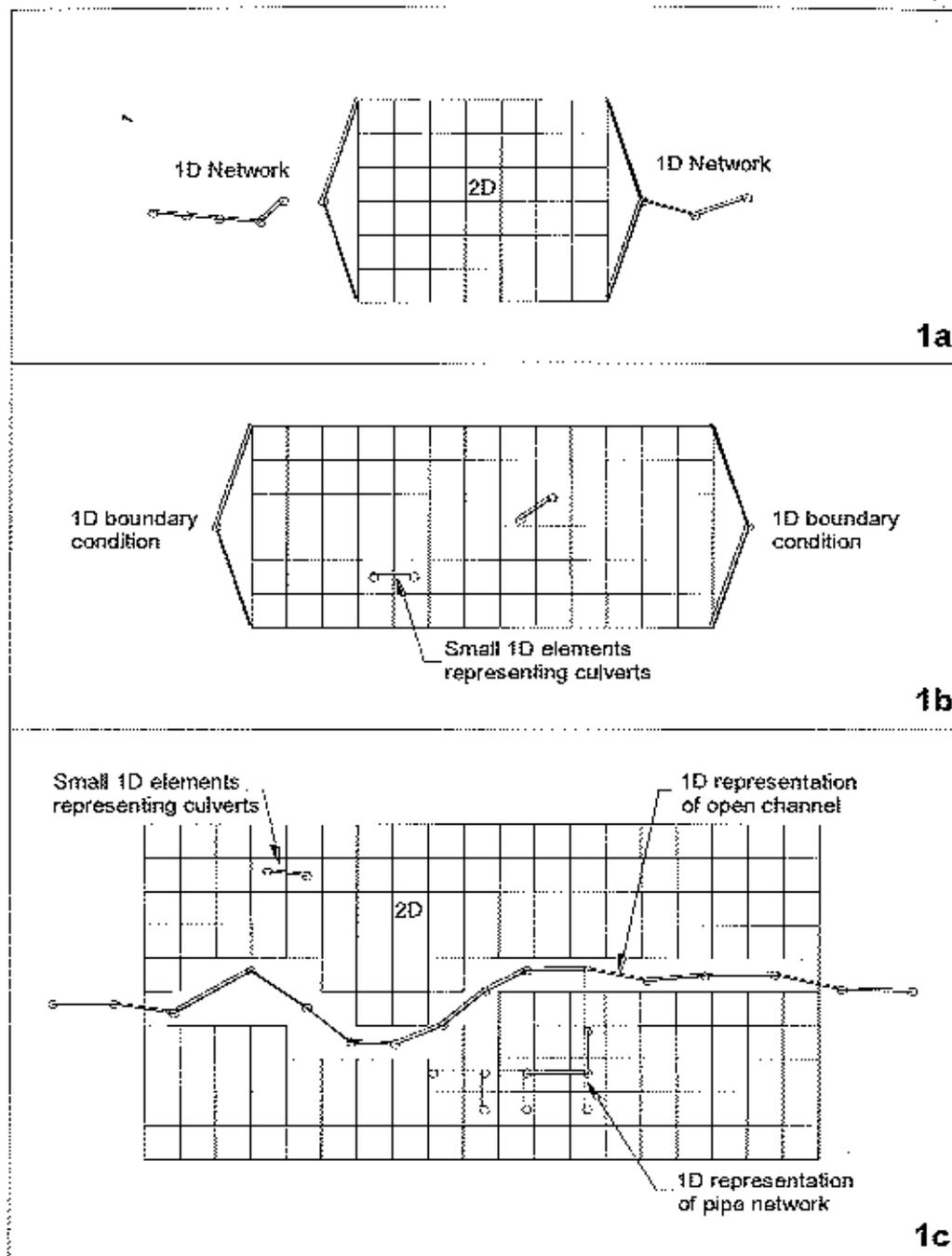


Figura 4 – Schemi di link tra il modello bidimensionale TUFLOW ed il modello monodimensionale ESTRY

A.4 Inserimento dati

La successiva figura illustra il funzionamento del software per quanto riguarda l'inserimento dei dati e la restituzione dei risultati. Tutti i dati riguardanti la topografia e le grandezze idrauliche caratteristiche degli oggetti sono contenute in tematismi GIS. Per le serie temporali come gli idrogrammi e per i dati non georiferiti come la geometria delle sezioni d'alveo o le caratteristiche delle opere idrauliche, si utilizzano files di testo. Per collegare i dati GIS, i dati non georiferiti e le serie temporali e per gestire le simulazioni vengono utilizzati files di testo.

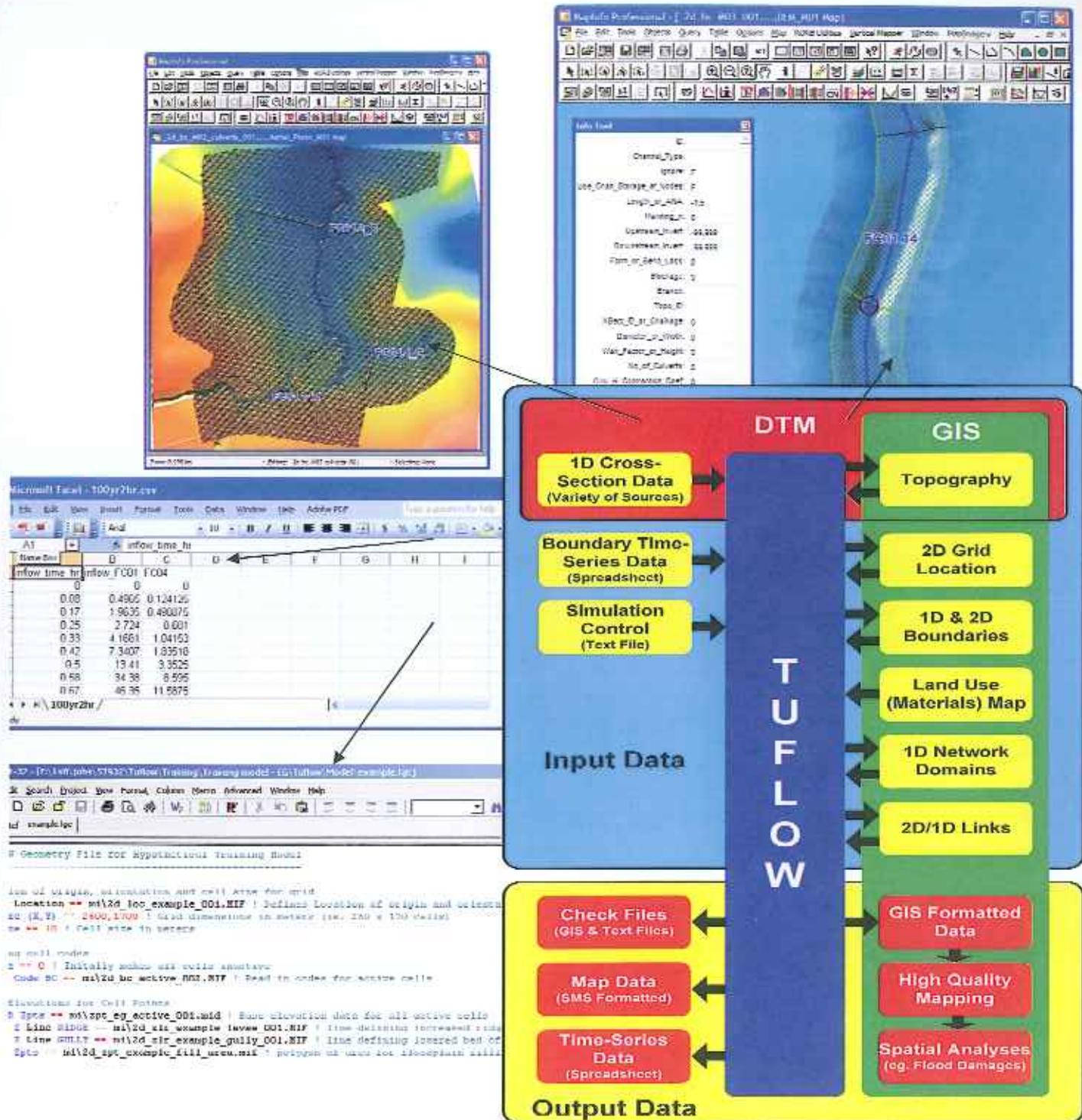


Figura 6- Struttura del software

A.5 Visualizzazione dei risultati

TufLOW restituisce i risultati delle simulazioni nei domini mono e bidimensionale nelle seguenti tipologie di files:

- Files binari che vengono letti da SMS per visualizzare i risultati. Le animazioni vengono generate da SMS.
- Files .csv per le serie temporali che possono essere visualizzati in Microsoft Excel.

- Files .mif/.mid per visualizzare i risultati in formato GIS e produrre le mappe tematiche.
- files di testo per le segnalazioni di errore o di avvertimento.

Nella successiva figura si riporta un esempio di visualizzazione dei risultati di una simulazione idraulica ad un certo istante temporale in SMS. Si nota la zona modellata con il modulo monodimensionale in cui valori di altezza d'acqua sul piano campagna sono indicati in scale di blu; la stessa scala è stata adottata nell'area modellata in modo bidimensionale, dove sono visualizzati anche i vettori velocità



Figura 7 Esempio di visualizzazione dei risultati di simulazione idraulica mono-bidimensionale¹

A.6 Applicazioni e utenti

Australia: TUFLOW è stato largamente applicato in Australia dal 1990, inizialmente per la modellazione idraulica di estuari/coste e avvezione/dispersione, successivamente per la modellazione di flussi e inondazioni. Non è stato commercializzato fino al 2001, ma veniva solo utilizzato dagli autori di TUFLOW (Water and Environmental Consultants WBM Pty Ltd). Dal 2001 (quando è stato commercialmente disponibile) è stato largamente utilizzato dalle agenzie pubbliche e consulenti australiani fino al punto da farlo diventare, probabilmente, il più utilizzato software di modellazione del flusso 1D/2D. In termini di progetti TUFLOW è stato selezionato e successivamente applicato per un numero di studi ad alto profilo. In Australia ci sono in totale più di trenta organizzazioni che utilizzano TUFLOW.

¹ Ing. G. Andreella per OGS Osservatorio Geofisico Sperimentale (IS) (2007) - Environmental hydrological and ground management for the CADSES area - Project No. SD154 - Pilot Project in the Tisza - Marosszogi area (Hungary)

Regno Unito: TUFLOW è il software di modellazione del flusso e delle piene più utilizzato nel Regno Unito, come evidenziato nella seguente figura tratta da un'indagine dalla UK Environmental Agency del 2010.

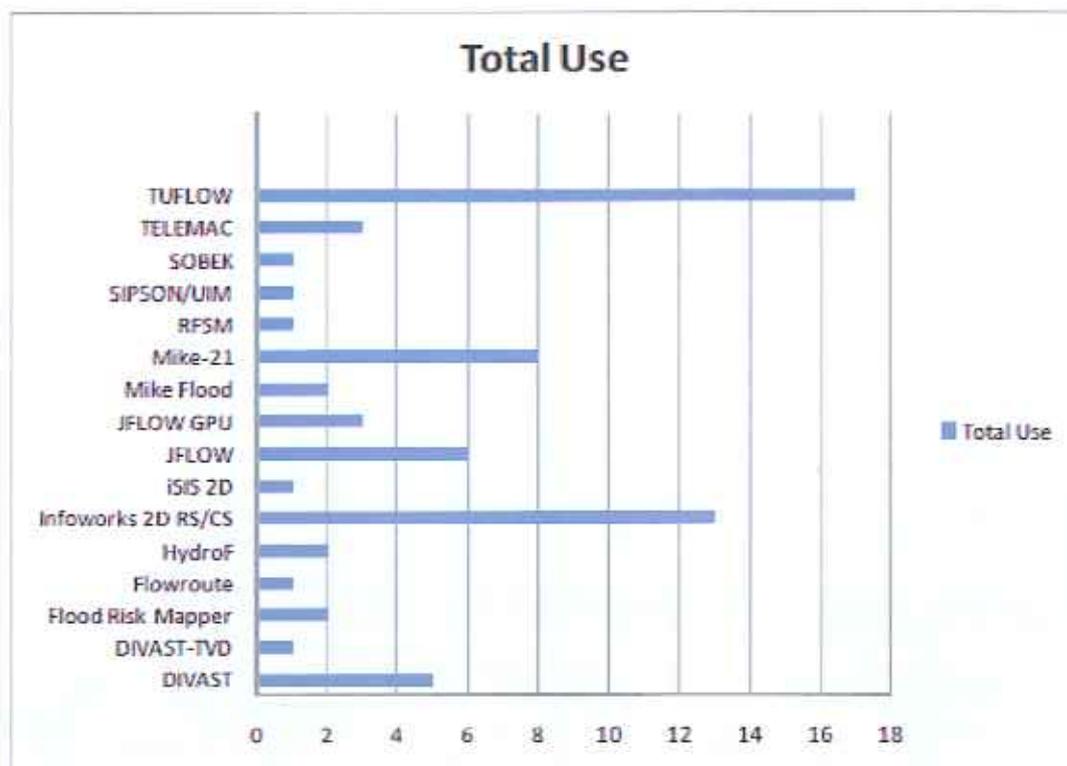


Figure 3.1: Number of respondents using each 2D flood inundation modelling package identified by questionnaire survey

Probabilmente l'applicazione più importante riguarda lo studio delle aree a rischio idraulico del Tamigi a Londra e nelle aree limitrofe (Thames Embayments Inundation Study)). Lo studio è stato sviluppato da Halcrow e Hr Wallingford dal 2003.

Un altro studio inglese molto interessante è la deviazione dell'intero Fiume Trent (il terzo più grande bacino idrografico del Regno Unito) , realizzato da Capita Symonds .

TUFLOW è anche stato utilizzato come software di modellazione per il sito olimpico di Londra 2012. Il modello è stato sviluppato alla fine del 2003 da Capita Symonds come parte della gara d'appalto per i giochi olimpici.

Quasi tutti i maggiori consulenti del regno Unito,un numero di consulenti minori e l'agenzia per lo sviluppo dell'UK hanno acquistato TUFLOW, e in tutto rappresentano più di 40 differenti organizzazioni. Gli utenti più importanti sono: Halcrow, Capita Symonds, HR Wallingford, Atkins, URS, Jacobs, JBA Consulting, Faber Maunsell, Arup, Mott MacDonald, Bureau Veritas, Buro Happold, Golder, Black and Veatch, Mouchel Parkman. Diverse Università del Regno Unito hanno licenze accademiche di TUFLOW, le principali sono: Bristol e Glasgow e l'Università del Galles.

Europa: TufLOW è utilizzato dall'Università di Praga, dal Politecnico di Vienna, dall'Università di Trieste e da alcune società di ingegneria in Italia, Spagna, Germania e in Austria (in particolare, la DonauConsult, importante società di consulenza austriaca con sede a Vienna).

USA/Asia: Ci sono più di 30 utenti in USA e a più di 30 in Asia. Nel Nord America la USA Federal HighWays utilizza TUFLOW come software per la risoluzione delle interferenze idrauliche.

A.7 BIBLIOGRAFIA

Molte pubblicazioni sono disponibili nel sito

http://www.tuflow.com/Downloads_Publications.htm

in particolare, le più significative sono di seguito elencate:

1. <http://www.tuflow.com/Downloads/Dynamically%20Linked%20D%20and%20I%20Hydrodynamic%20Modelling,%20Syme,%201991.pdf>
2. <http://www.tuflow.com/Downloads/Flow%20Through%20an%20Abrupt%20Constriction%20-%20D%20Hydrodynamic%20Performance%20and%20Influence%20of%20Spatial%20Resolution,%20Barton,%202001.pdf>
3. <http://www.tuflow.com/Downloads/Modelling%20of%20Bends%20and%20Hydraulic%20Structures%20in%20a%20D%20Scheme,%20Syme,%202001.pdf>
4. <http://www.tuflow.com/Downloads/TUFLOW%20Validation%20and%20Testing,%20Huxley,%202004.pdf>
5. <http://www.tuflow.com/Downloads/Modelling%20Flood%20Inundation%20of%20Urban%20Areas%20in%20the%20UK,%20Syme,%202004.pdf>
6. <http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.02%20-%20Meeting%20the%20Challenge%20in%20Newcastle,%20Syme%20and%20Gibbins.Lismore.pdf>
7. <http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.05%20-%20Bruce%20Highway%20Eudlo%20Ck%20Hydraulic%20Investigations%20-%20A%20Turning%20Point.Syme.ASFPM%202006.pdf>
8. <http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.05%20-%20D%20or%20No1%20D%20-%20An%20Australian%20Perspective.Syme.UK%20DEFRA%202006.pdf>
9. <http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2008.09%20-%20D%20Modelling%20Approaches%20for%20Buildings%20and%20Fences.Syme.pdf>

A8 - VALIDAZIONE

I test eseguiti dalla UK Environmental Agency sui vari software di modellazione idraulica disponibili sul mercato sono scaricabili dai seguenti link:

<http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SCHO0510BSNO-e-e.pdf>

<http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SCHO0510BSNP-E-E.pdf> (sintesi)