



PIANO PROVINCIALE DI EMERGENZA

APPENDICE 9 “MODELLO MATEMATICO PER LA SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE PIENE”

2008

1 - PREMESSA

La Provincia di Venezia ha affidato l'incarico di mettere a punto un modello matematico per la simulazione della propagazione delle piene e degli eventuali fenomeni di esondazione ai fini della previsione e della gestione delle situazioni di emergenza sicurezza idraulica in tutto il territorio provinciale.

Obiettivo delle indagini è l'esame degli effetti di eventuali esondazioni dei principali corsi d'acqua della rete idrografica naturale e di bonifica presente nel territorio, simulando con il modello matematico la propagazione delle piene lungo le aste fluviali e descrivendo le modalità con cui, a causa di possibili tracimazioni degli argini o di eventuali rotte conseguenti al loro cedimento, l'onda di sommersione si diffonde sui territori adiacenti.

Il modello matematico utilizzato per l'indagine si basa su uno schema di integrazione delle equazioni del moto agli elementi finiti che, grazie all'accoppiamento di elementi uni e bidimensionali, consente di descrivere con un buon dettaglio la morfologia del territorio in esame e il ruolo idrodinamico degli ostacoli eventualmente presenti.

In particolare è possibile inserire nel reticolo di calcolo sia i rilevati stradali presenti nelle aree potenzialmente esondabili, che fungono, almeno inizialmente, da barriera ed ostacolano il propagarsi degli allagamenti, sia i corsi d'acqua minori, che possono invece, in alcuni casi, facilitare l'espansione dell'onda di sommersione. Per le arginature principali e per i rilevati stradali investiti dalle acque è possibile ipotizzare cedimenti gradualmente od improvvisi, localizzati o diffusi. Infine possono essere inseriti nello schema dispositivi particolari che simulano il funzionamento di impianti idrovori.

Ai fini dello studio il territorio provinciale è stato suddiviso nei seguenti 10 ambiti:

- territorio compreso tra il Tagliamento e il Canale dei Lovi²
- bacino del fiume Lemene³
- bacino del fiume Livenza³
- bacino del fiume Piave³
- bacino del fiume Sile⁴
- bacino del sistema Dese, Zero e Marzenego⁴
- territorio compreso tra il Marzenego e il Brenta⁴
- bacino del sistema Brenta-Bacchiglione³
- bacino del Canale dei Cuori¹
- territorio compreso tra il f. Adige e la parte meridionale del territorio provinciale⁴

¹ Studio eseguito da prof. D'Alpaos, ing. Cocco e ing. Matticchio – delibera d'incarico n°

² Studio eseguito da prof. D'Alpaos, ing. Cocco e ing. Matticchio – delibera d'incarico n° 31204/97

³ Studio eseguito da Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l. – delibera d'incarico n° 54701/97

⁴ Studio eseguito da Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l. – delibera d'incarico n° 56281/98

Per ciascuno di questi casi, una volta messa a punto la schematizzazione della rete idrografica e del territorio, si è provveduto alla valutazione degli eventi di piena critici, caratterizzati da tempi di ritorno dell'ordine di 50 e 100 anni. Allo scopo, a seconda dei casi, si è fatto riferimento ad elaborazioni contenute in studi precedenti o si sono effettuati appositi calcoli idrologici, nei casi in cui tali riscontri non sono risultati disponibili. Sempre nelle situazioni in cui ciò si è rivelato possibile, il modello matematico è stato "tarato", in via preliminare, per confronto con i dati stessi o per confronto con i risultati di indagini analoghe.

I risultati ottenuti dalle simulazioni hanno messo principalmente in evidenza l'efficacia e la versatilità della metodologia proposta per indagare sulla sufficienza idraulica dei corsi d'acqua e per simulare le conseguenze di ipotetiche esondazioni.

In secondo luogo le applicazioni agli specifici eventi di piena considerati hanno consentito di individuare, per ciascun bacino, alcune situazioni critiche, in cui il rischio di esondazione è particolarmente elevato.

Devono essere comunque segnalati alcuni limiti delle indagini svolte, legati non tanto ad insufficienze dello schema di calcolo, quanto alle difficoltà che si sono incontrate nel reperire tutti i dati geometrici e topografici necessari per la modellizzazione della rete idrografica e del territorio circostante. In particolare si è riscontrata una notevole carenza di dati topografici e geometrici dei principali corsi d'acqua, per i quali gli studi ed i documenti consultati riportano solo elementi parziali e non sempre congruenti tra di loro. Si rileva conseguentemente l'esigenza di disporre di maggiori elementi che descrivano la geometria dei corsi d'acqua e i profili delle sommità arginali, soprattutto ai fini di ottenere dai calcoli risultati più accurati ed affidabili, per l'esame di problemi connessi con particolari situazioni locali.

Un ulteriore elemento di incertezza, questa volta relativamente allo studio della propagazione delle piene nei fiumi maggiori, riguarda la carenza degli elementi che sarebbero necessari per una significativa taratura del modello relativamente alle parti terminali di tali corsi d'acqua. La disponibilità di dati significativi, ovvero di misure simultanee dei livelli idrometrici e delle portate fluenti, consentirebbe da una parte di avere indicazioni sulla schematizzazione geometrica adottata per descrivere gli alvei e le aree di pertinenza fluviale, dall'altra di identificare i più corretti valori da assumere per i coefficienti di scabrezza degli alvei. Il valore di tale parametro assume un ruolo fondamentale nella valutazione dei livelli idrometrici che si stabiliscono al passaggio delle piene, tanto più se si considera che nei casi qui esaminati le quote idrometriche che si ottengono sono al limite delle attuali capacità degli alvei.

2 - IL MODELLO MATEMATICO

2.1 - Descrizione dello schema numerico

Il modello matematico utilizzato nella presente indagine risolve le equazioni differenziali che governano il flusso bidimensionale di una corrente a superficie libera su bassi fondali in moto vario, formulate in modo da poter essere applicate anche ad aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l'evoluzione del fenomeno indagato.

Tali equazioni, ricavate dalla integrazione sulla verticale delle equazioni del moto nelle due direzioni x e y e dell'equazione di continuità, sono le seguenti:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{du}{dt} + \frac{q_x \cdot |q|}{K_s^2 H^{10/3}} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{q_y \cdot |q|}{K_s^2 H^{10/3}} = 0 \quad [2]$$

$$\eta \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla q = w \quad [3]$$

in cui h indica la quota idrometrica, x, y sono le ascisse spaziali orizzontali correnti, u, v sono le componenti della velocità, mediate sulla verticale, nelle direzioni x e y, g è l'accelerazione di gravità, K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Strikler, t è il tempo, **q** è la velocità integrata sulla verticale con componenti q_x e q_y secondo le due direzioni orizzontali x e y, w è un termine sorgente.

Nelle equazioni compaiono inoltre i termini η e H i quali nel tempo generico indicano, rispettivamente, la frazione locale di dominio allagato ed un'altezza d'acqua equivalente introdotta per descrivere correttamente l'effetto dei termini dissipativi. Tali termini sono dati dalle espressioni seguenti:

$$\eta = \begin{cases} -0.7 \left(1 - \frac{Y_a}{Y_{lim}}\right)^2 & \text{se } Y_a < Y_{lim} \\ 1 & \text{se } Y_a \geq Y_{lim} \end{cases} \quad [4]$$

$$\frac{H}{Y_{lim}} = \frac{1}{4} \left\{ \frac{Y_a}{Y_{lim}} + \sqrt{\left(\frac{Y_a}{Y_{lim}}\right)^2 + 0.5} \right\} \cdot \left[1 + \operatorname{tgh} \left(\frac{2 \cdot Y_a}{Y_{lim}} + 2 \right) \right] \quad [5]$$

in cui $Y_a = h - \bar{h}_f$, $\bar{h}_f$ indica la altezza media locale del fondo e Y_{lim} indica la ampiezza massima delle ondulazioni locali del terreno.

Nella soluzione delle equazioni [1] e [2] si è assunto che i termini di accelerazione convettiva possano essere trascurati, poichè i termini dissipativi risultano generalmente ampiamente predominanti nella propagazione della corrente su bassi fondali.

Le equazioni [1] e [2] possono essere riformulate con l'introduzione della variabile **q** e discretizzate nel tempo utilizzando una approssimazione alle differenze finite. In particolare assumendo:

$$\psi = \left[\frac{q'_x}{gH' \Delta t} + \frac{|q|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} \right]^{-1} \quad [6]$$

$$\varphi_x = -\frac{q'_x}{gH' \Delta t}, \quad \varphi_y = -\frac{q'_y}{gH' \Delta t} \quad [6']$$

le equazioni [1] e [2] si possono scrivere nella forma seguente:

$$q_x = -\psi \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \varphi_x \right) \quad [7]$$

$$q_y = -\psi \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \varphi_y \right) \quad [8]$$

in cui con apice sono state indicate le grandezze note calcolate in un tempo precedente l'istante di calcolo. La sostituzione delle equazioni [7] ed [8] nell'equazione [3] consente di scrivere quest'ultima nella forma:

$$\eta \cdot \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot [\psi \cdot (\nabla h + \mathbf{r})] = w \quad [9]$$

in cui $\mathbf{r} = (\varphi_x, \varphi_y)$.

Nel modello qui utilizzato il sistema composto dalle equazioni [7] - [9] è risolto numericamente con uno schema ad elementi finiti semi-implicito basato sulla discretizzazione spaziale del campo di moto mediante elementi di forma triangolare. In particolare, la soluzione per i livelli prevede una variazione lineare delle quote idrometriche all'interno di ciascun elemento, mentre le velocità (integrate sulla verticale) sono considerate costanti sull'elemento.

In queste ipotesi l'incognita principale h può essere approssimata dall'espressione seguente:

$$\hat{h} = \sum_{n=1}^N h_n \xi_n$$

in cui ξ_n indica la generica funzione di forma, h_n indica il valore nodale del livello idrometrico e N indica il numero totale di nodi di calcolo.

Applicando il metodo di Galerkin all'equazione [9] si ottiene infine il seguente sistema lineare di N equazioni:

$$\sum_e \eta^e \cdot \int_{A_e} \frac{h_n - h'_n}{\Delta t} \cdot \xi_n^e \cdot \xi_m^e \cdot dA_e + Q_m + \sum_e \int_{A_e} \psi^e \cdot \left[\frac{h_n + h'_n}{2} \cdot \nabla \xi_n^e + \mathbf{r}^e \right] \cdot \nabla \xi_m^e dA_e = 0 \quad [10]$$

in cui il pedice n implica l'operazione di sommatoria, A_e rappresenta l'area del generico elemento, Q_m è il flusso totale uscente dal generico nodo e la grandezza η^e , calcolata come:

$$\eta^e = \frac{1}{A_e} \int_{A_e} \eta \cdot dA_e$$

si assume costante durante il generico passo temporale di integrazione.

Risolvendo il sistema [10] si ottengono i valori del livello idrometrico in ciascun nodo; successivamente, note le quote idrometriche, si calcolano le velocità integrate sulla verticale utilizzando le equazioni [7] e [8].

2.2 - Accoppiamento fra gli schemi 2D e 1D

Lo schema bidimensionale ad elementi finiti descritto nel paragrafo precedente è in grado di descrivere con sufficiente accuratezza la propagazione del flusso su bassi fondali, in particolare nelle situazioni in cui l'evoluzione del fenomeno porta ripetutamente al prosciugamento e all'allagamento di ampie porzioni del dominio di calcolo. La possibilità di rappresentare correttamente la dinamica del sistema idraulico è però legata anche alla corretta simulazione del funzionamento della rete minore, costituita da canali di modeste dimensioni trasversali, che in genere solca tali aree. La schematizzazione con elementi bidimensionali della rete idrografica minore presenterebbe non poche difficoltà, poichè da una parte essa porterebbe all'utilizzo di elementi di dimensioni così piccole da rendere assai onerosa la fase di costruzione del reticolo, dall'altra potrebbe generare l'insorgere di problemi di stabilità ed accuratezza della soluzione numerica. Per questa ragione nel caso in esame è stato utilizzato un modello che consente l'impiego accoppiato di elementi bidimensionali ed unidimensionali, utilizzando questi ultimi per descrivere il funzionamento dei canali della rete minore che drena porzioni di territorio solitamente asciutte.

In pratica gli elementi unidimensionali funzionano come canali "in pressione" a sezione costante, fino a quando le zone laterali che li fiancheggiano sono ricoperte dalle acque, e come canali a pelo libero quando il livello scende al di sotto della quota delle zone laterali. Il comportamento idraulico di un territorio soggetto ad esondazione può essere quindi descritto in modo efficace con un reticolo di elementi bidimensionali i cui lati seguono, nelle zone in cui ciò è necessario, il tracciato degli eventuali canali unidimensionali presenti. I canali unidimensionali, a loro volta, possono essere comunque connessi fra loro ma devono essere disposti lungo i lati del reticolo bidimensionale, appoggiandosi agli stessi nodi.

Può accadere che il canale definito tra due nodi non sia affiancato da elementi bidimensionali, o che durante l'evolversi del fenomeno gli elementi bidimensionali che lo fiancheggiano siano prosciugati. In queste condizioni, come si è detto, il canale funziona a superficie libera.

Le equazioni che descrivono il funzionamento dei canali unidimensionali, qui omesse per semplicità di esposizione, vengono a costituire un sistema di relazioni algebriche tra le portate e i livelli in corrispondenza degli estremi di ciascun tronco di canale. Conseguentemente, imponendo le condizioni di continuità nel sistema bidimensionale attraverso il bilancio di massa nei singoli nodi, il contributo dei canali è introdotto come un'opportuna funzione lineare dei livelli, i quali però, essendo gli stessi del sistema bidimensionale, non aumentano le dimensioni della matrice del sistema risolutivo di equazioni che così si ottiene.

Una volta determinati i livelli nei nodi, tenendo conto del contributo fornito dagli elementi unidimensionali, le portate fluenti nei canali possono essere valutate attraverso un semplice procedimento di sostituzione a ritroso.

Anche la soluzione delle equazioni unidimensionali avviene con uno schema agli elementi finiti semi-implicito nella formulazione di Galerkin, considerando una variazione lineare dei livelli fra i nodi di calcolo e valori costanti di portata per ciascun elemento unidimensionale, in analogia con lo schema che risolve la parte bidimensionale. Tralasciando gli sviluppi del metodo numerico di integrazione, basti dire che la soluzione ottenuta presenta il notevole vantaggio di accoppiare lo schema bidimensionale e quello unidimensionale senza alterare le caratteristiche del sistema risolutivo, consentendo di aggiungere o di togliere elementi unidimensionali senza che vi sia contemporaneamente la necessità di modificare la schematizzazione bidimensionale.

Le caratteristiche e le peculiarità del modello matematico qui sinteticamente descritto sono ampiamente documentate nelle memorie scientifiche pubblicate sull'argomento [1], [2], [3].

2.3 - Tronchi speciali

Per simulare con buona approssimazione anche la presenza di elementi morfologici particolari, quali argini tracimabili, rilevati stradali che, prima di essere tracimati, fungono inizialmente da barriere per le acque esondate, o manufatti che possono indurre fenomeni localizzati la cui influenza sull'evoluzione del fenomeno di allagamento del territorio può essere assai rilevante, il modello uni-bidimensionale descritto nei paragrafi precedenti è stato ulteriormente sviluppato con l'inserimento di elementi unidimensionali (tronchi) speciali.

Mediante tali elementi è possibile simulare il funzionamento di soglie sfioranti, che non possono essere descritte correttamente utilizzando elementi bidimensionali. In tali casi è sufficiente assegnare le caratteristiche geometriche della soglia e il valore del coefficiente di portata perchè il modello determini, al variare delle quote idrometriche, l'andamento della portata eventualmente sfiorata al di sopra della soglia, considerando sia condizioni di efflusso libero che di efflusso rigurgitato. Relativamente a queste strutture è anche possibile simulare gli effetti di un loro eventuale cedimento che apra sul corpo arginale o sul rilevato stradale una breccia.

Altri tronchi speciali inseriti nello schema di calcolo consentono di simulare il funzionamento di brevi condotti in pressione, come sottopassi o botti a sifone; altri elementi ancora consentono di simulare il funzionamento di paratoie, che possono operare automaticamente comandate dai livelli o dalla direzione del flusso (porte vinciane). Mediante questi elementi speciali è possibile infine simulare il funzionamento degli impianti idrovori presenti all'interno del dominio di calcolo. Ciò consente di semplificare notevolmente la fase di assegnazione delle condizioni al contorno del problema poichè tali dispositivi, che sono trattati dal modello come condizioni al contorno interne, si attivano automaticamente nel corso della simulazione quando i livelli idrometrici locali superano le quote di attacco delle pompe e si disattivano quando gli stessi livelli scendono al di sotto delle quote di stacco.

I valori dei parametri che caratterizzano tutti questi dispositivi devono essere inseriti dall'utente nel file dei dati associato a ciascuna simulazione. Gli stessi parametri possono peraltro anche essere fatti variare durante la sessione di calcolo in modo tale da rendere possibile la simulazione interattiva di diverse situazioni particolari che possono verificarsi nel corso di un evento di piena, quali i già ricordati cedimenti di corpi arginali, l'interruzione del funzionamento di impianti idrovori od altro.

3- APPLICAZIONE DEL MODELLO AL TRATTO TERMINALE DEL F. TAGLIAMENTO E AL TERRITORIO ADIACENTE NEL BACINO DI S. MICHELE AL TAGLIAMENTO

3.1 - Caratteri idraulici del territorio

Il territorio indagato è schematicamente rappresentato nella Fig. 3.1 che riproduce una corografia dell'area modellata.

L'area considerata riguarda innanzitutto il corso terminale del F. Tagliamento compreso tra la foce e il limite settentrionale del territorio della provincia di Venezia il cui limite settentrionale è situato circa 5 km a nord dell'autostrada Venezia - Trieste. La lunghezza complessiva del tratto fluviale considerato è di circa 30 km. La schematizzazione si estende inoltre al territorio adiacente al fiume in destra idrografica, fino al Canale Taglio Nuovo nella parte settentrionale, e al Canale dei Lovi nella parte meridionale. E' in tal modo considerato il territorio potenzialmente allagabile da eventuali esondazioni o rotte lungo l'argine destro del Tagliamento e quello adiacente al Canale Cavrato che, nel caso di eventi di piena significativi, funge da scolmatore delle portate massime del fiume.

Complessivamente l'area esaminata si estende per circa 150 km².

Per considerare anche l'eventuale influenza della marea sulla dinamica dei fenomeni indagati la schematizzazione comprende anche una fascia di mare tra la foce del Tagliamento e la foce di Porto Baseleghe, dove si immettono il Canale dei Lovi e, attraverso questo, il Cavrato.

Per gli aspetti della bonifica idraulica il territorio ricade interamente nei limiti di competenza del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, con sede a Portogruaro.

Nella parte meridionale, a sud di Cesarolo, l'area è pianeggiante con quote del terreno quasi ovunque inferiori al livello medio del mare. Soprattutto nella parte compresa tra il C. Cavrato, il Tagliamento e la Litoranea Veneta (terreni del Quarto Bacino) le quote del piano campagna sono particolarmente depresse essendo in qualche zona inferiori a -2.0 m s.m..

In tali zone lo smaltimento delle acque avviene con una serie di impianti idrovori gestiti dal Consorzio, che scaricano i contributi della rete dei canali di bonifica nei corsi d'acqua principali (C. Taglio, C. dei Lovi, C. Lugugnana, F. Tagliamento).

Nella parte settentrionale, le quote del terreno variano tra 0 m s.m. e + 12 m. s.m. e le pendenze sono più significative; qui il drenaggio della rete di bonifica avviene a gravità e le portate dei collettori sono scaricate nel Tagliamento o nel Canale Taglio Nuovo.

Il rischio idraulico nel comprensorio considerato è principalmente legato al comportamento del Tagliamento in occasione di eventi di piena eccezionali.

Dopo il disastroso evento del 1966, in seguito al quale si sono verificate numerose rotte degli argini del Tagliamento all'altezza di Latisana, per sifonamento e tracimazione delle difese, per migliorare le condizioni di deflusso delle piene del fiume sono stati effettuati alcuni interventi di sistemazione e consolidamento degli argini a cavallo dell'abitato di Latisana e di sistemazione del corso fluviale immediatamente a monte e a valle dell'abitato stesso. Si è provveduto, tra l'altro, alla realizzazione di un drizzagno in località S. Anna, a valle di Latisana, al fine di migliorare la capacità di portata dell'alveo nel tratto a valle del paese.

Non sono stati invece effettuati interventi di rilievo nel tratto terminale del Tagliamento, a valle del diversivo Cavrato, la cui capacità di portata resta limitata rispetto alle portate di massima piena probabile in arrivo da monte. Di fondamentale importanza, per questa parte del fiume, resta pertanto la riduzione dei colmi di piena operata dalla tracimazione delle acque verso la bassura su cui si sviluppa l'alveo del Cavrato.

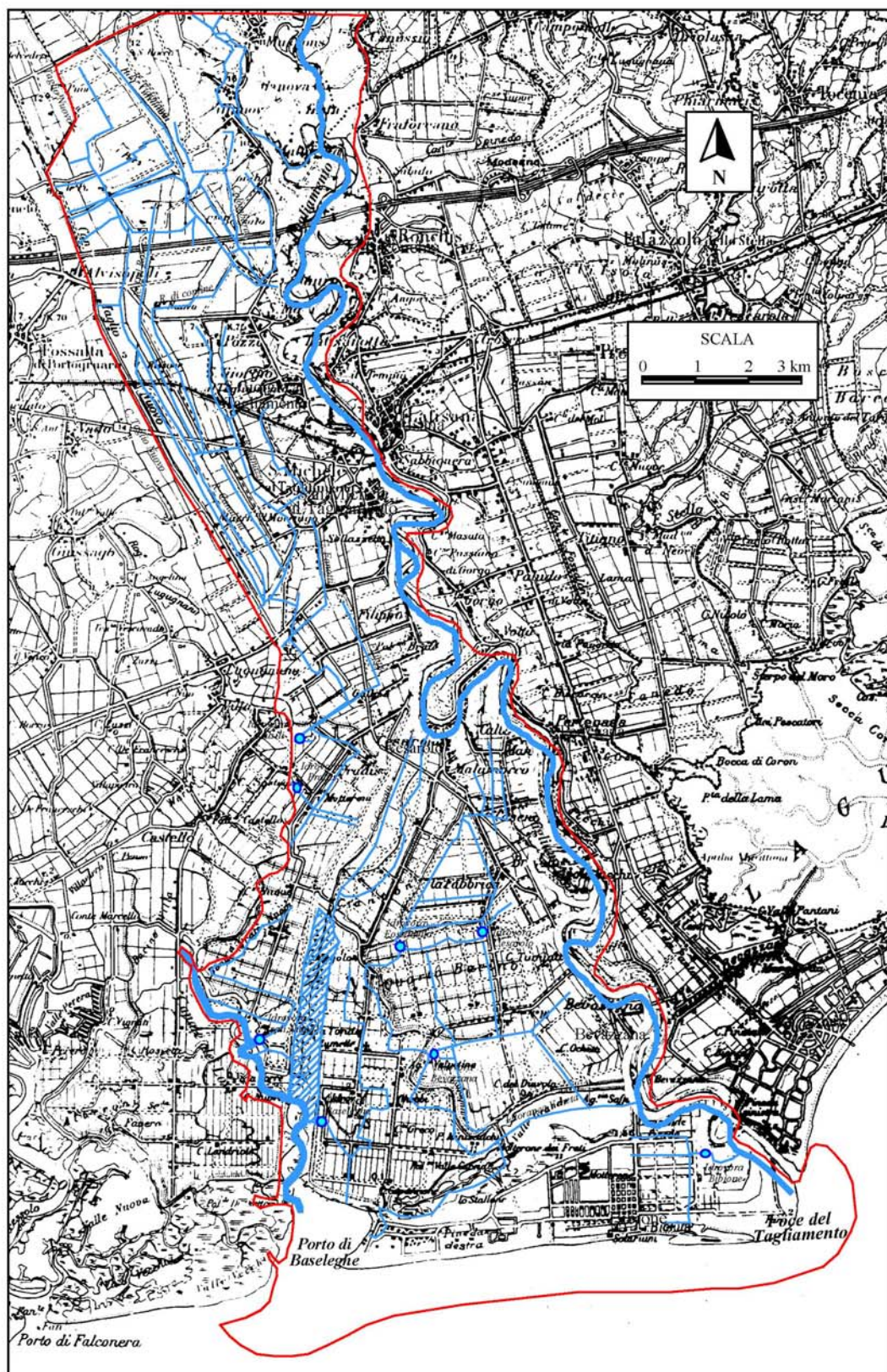


Fig. 3.1 - Corografia del tratto terminale del Fiume Tagliamento e del territorio ad esso adiacente considerato nell'indagine.

Come si evince anche da alcuni dagli studi precedenti esaminati ([18], [19], [20]), gli interventi sistematori realizzati, se da un lato hanno sortito l'effetto di garantire condizioni di maggiore sicurezza al centro abitato di Latisana, dall'altro hanno trasferito più a valle i pericoli di tracimazione, in parte anche accentuandoli.

Le quote arginali attuali nel tratto di fiume a valle di Latisana, ricavata dalla documentazione reperita ed allegata agli studi condotti, risultano infatti in più punti insufficienti a contenere con margini di sicurezza accettabili piene eccezionali come quella del '66.

L'inadeguatezza del tratto finale del Tagliamento dipende principalmente dall'insufficienza delle quote delle sommità arginali sul lato destro del fiume (lato Veneto). L'argine sinistro invece (lato Friuli Venezia Giulia) risulta in tale tratto mediamente più alto (anche di 1 m) rispetto a quello destro, e garantisce un certo franco di sicurezza anche per piene eccezionali come quelle indicate.

Dall'esame dei dati reperiti negli studi citati sul comportamento del tratto terminale del F. Tagliamento in condizioni di piena, è emerso in definitiva che il tratto terminale a valle di Cesarolo non è in grado di contenere con margini di sicurezza accettabili il passaggio di onde di piena eccezionali, caratterizzate da tempi di ritorno dell'ordine di 100 anni, pur considerando l'entrata in funzione dello scolmatore Cavrato. Anche se le analisi condotte in tali studi si basano su schemi di calcolo che non sono in grado di descrivere il passaggio di onde di piena che producono sormonti arginali e quindi esondazioni, principalmente si riscontra che le quote attuali delle arginature garantiscono il passaggio nel tratto terminale del Tagliamento con preoccupanti riduzioni del franco di portate al colmo dell'ordine al massimo di $1500 \div 1600 \text{ m}^3/\text{s}$, inferiori a quelle che si potrebbero verificare nel caso di eventi di piena eccezionale.

Un secondo aspetto del rischio idraulico nel territorio esaminato riguarda il funzionamento dello scolmatore Cavrato, il quale consente di derivare parte delle portate massime del F. Tagliamento verso il tratto terminale del C. dei Lovi che, come si è detto, a sua volta le scarica in mare attraverso la foce di Porto Baseleghe. Secondo i dati disponibili il Cavrato, nel caso di piene del Tagliamento con tempi di ritorno di circa 100 anni, dovrebbe essere in grado di far defluire portate massime dell'ordine di oltre $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ nel tratto che va da Cesarolo al mare. Ma sulla base dei dati riportati negli studi esaminati, nella situazione attuale delle arginature, che sono al massimo in grado di contenere portate dell'ordine di $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ questa è una pura ipotesi di lavoro, attuabile solamente se si realizzano importanti interventi di rinforzo delle arginature lungo il Cavrato.

In queste condizioni, pertanto, una piena eccezionale del F. Tagliamento potrebbe comportare condizioni di grave rischio idraulico nel territorio preso in esame sia per la riduzione o l'annullamento del franco idraulico lungo il tratto terminale del Tagliamento, sia per possibili fenomeni di tracimazioni o rotte degli argini del diversivo Cavrato. Va sottolineato che come per il Tagliamento, a maggior ragione per il Cavrato, che è sicuramente tracimato da piene eccezionali, gli studi esistenti [18] non forniscono indicazioni se non di larghissima approssimazione sul fenomeno, inattendibili sia per le quote idrometriche che si stabilirebbero nel diversivo, sia, come è ovvio, per le condizioni nel territorio circostante allagato che non è addirittura considerato negli schemi di calcolo utilizzati.

3.2 - Modellazione matematica del territorio

La base cartografica sulla quale è stata costruita la schematizzazione del modello matematico allestito è la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, che costituisce un supporto adeguato alle necessità delle indagini. La base cartografica regionale è stata utilizzata in formato raster per digitalizzare l'andamento planimetrico dei contorni e di tutti quegli elementi morfologici (corsi d'acqua, argini, rilevati stradali o ferroviari, ubicazione dei manufatti e delle opere idrauliche, ecc.) utili per una corretta rappresentazione del fenomeno indagato, che riguarda non solo la propagazione delle onde di piena lungo la rete idrografica, ma anche l'eventuale esondazione delle acque sul territorio circostante.

L'altimetria del territorio è stata ricostruita utilizzando sia la carta del microrilievo della Provincia di Venezia, ricavata dalla stessa CTR 1:10000, sia la cartografia messa a disposizione dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.

In particolare questi ultimi elementi cartografici, disponibili in forma numerica, hanno consentito di elaborare un piano quotato sufficientemente dettagliato di tutta l'area di indagine, utile al fine di assegnare automaticamente le quote altimetriche agli elementi della schematizzazione numerica del reticolo di calcolo del modello.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle sezioni del Tagliamento, si è fatto riferimento al più consistente rilievo topografico attualmente disponibile, costituito da 85 sezioni che vanno dalla foce fino a monte di Latisana. Le sezioni sono state ricavate dal progetto: [19] "Lavori di ristrutturazione, sistemazione e impermeabilizzazione delle arginature destra e sinistra del fiume Tagliamento a monte e a valle di Latisana" redatto dai proff. R. Cola, A. Adami e L. D'Alpaos per il Magistrato alle acque di Venezia, Ufficio del Genio Civile di Udine, 1982.

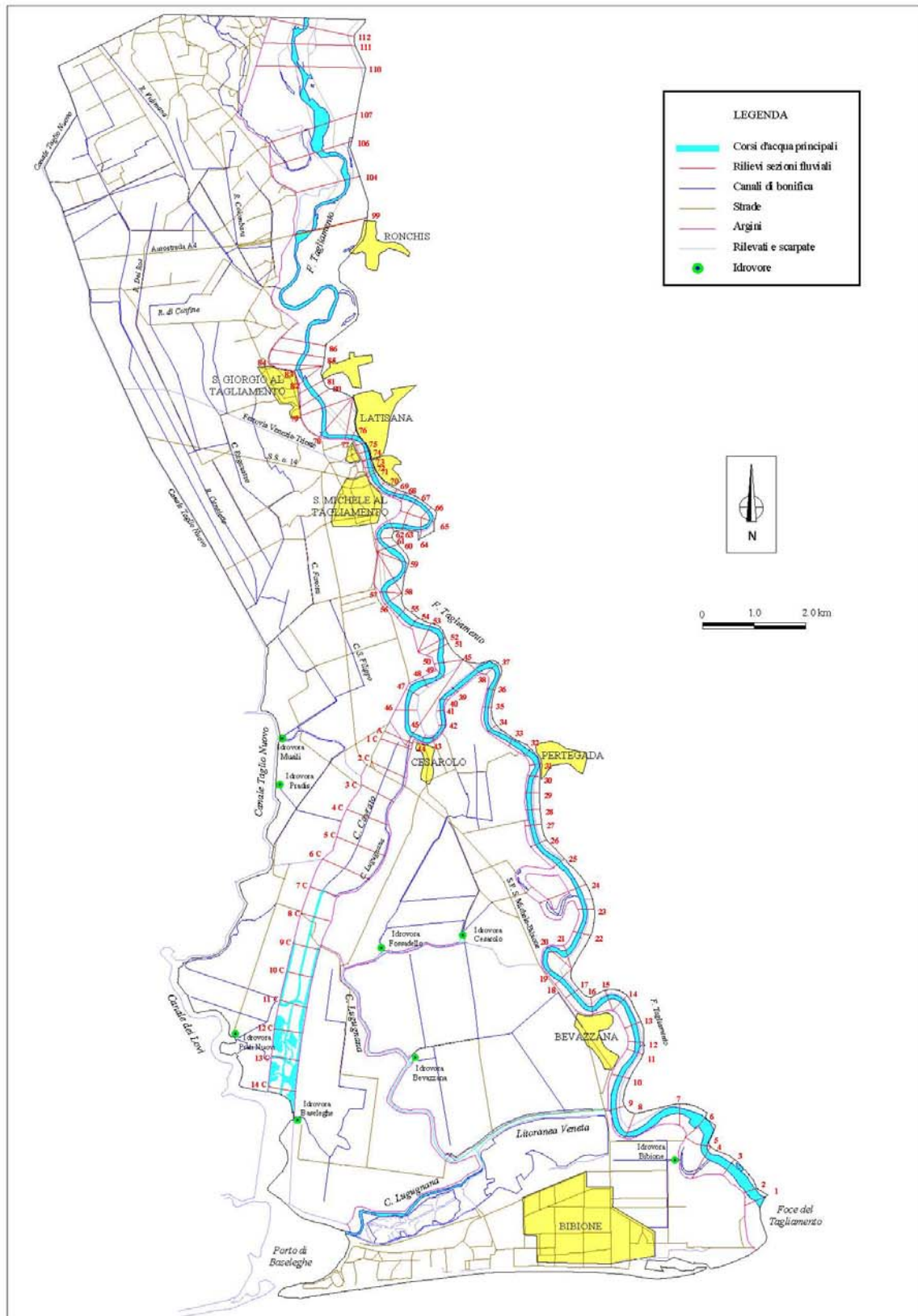
Tali sezioni sembra non abbiano in generale subito apprezzabili cambiamenti, mantenendo la loro validità, anche con riferimento agli elementi reperibili nel più recente studio [18] "Indagini idrologiche sul bacino inferiore del Tagliamento mediante la realizzazione di modelli matematici per lo smaltimento delle portate di piena a valle di Latisana" (Hydromet s.r.l. 1992),

Solo alcune modifiche sono intervenute nel tratto compreso fra Latisana e Cesarolo a seguito proprio dei lavori per la realizzazione del suddetto progetto di sistemazione delle arginature [19], che hanno portato alla realizzazione anche di un drizzagno tra le sezioni N. 61 e N. 57.

Date tuttavia le condizioni critiche che si potrebbero realizzare nel tratto terminale del F. Tagliamento in occasione di eventi di piena eccezionali emerse nel presente studio, di cui si riferisce nel seguito, appare opportuno suggerire un controllo delle sezioni in tutto il tratto terminale del fiume a valle di Cesarolo, per verificare la correttezza dei dati geometrici assunti a base delle simulazioni. Al riguardo non sembra fuori luogo pretendere che nell'eseguire rilievi topografici anche parziali della rete idrografica si provveda sempre e comunque a confrontare i dati ottenuti con quelli di rilievi precedenti, ove esistono, giustificando le eventuali differenze o discrepanze.

La geometria del Canale Cavrato è stata a sua volta schematizzata sulla base della Cartografia Tecnica Regionale (CTR) e dei rilievi topografici eseguiti nel maggio 1988 a cura dell'ing. P. Bertazzo, su incarico del Nucleo Operativo del Magistrato alle Acque di Venezia, riportati in allegato allo studio Hydromet [18]. Le 14 sezioni rilevate, mediamente distanziate di 500 m, sono equamente distribuite tra l'incile e l'immissione nel Canale dei Lovi.

La seguente Fig. 3.2 riporta schematicamente gli elementi geografici, morfologici ed idraulici utilizzati per la rappresentazione del comprensorio con il modello matematico. Nella stessa figura è evidenziata l'ubicazione delle sezioni utilizzate per la schematizzazione, sia per il



Tagliamento che per il Cavrato.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione del sistema, sono stati assunti sulla base dei dati riportati nella letteratura tecnica e di precedenti esperienze in situazioni analoghe, non essendo possibile in questo caso disporre delle misure sperimentali necessarie per procedere ad una vera e propria taratura dello schema.

Si è pertanto adottato generalmente un coefficiente di scabrezza K_s secondo Strickler di $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le zone d'alveo di $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree golenali.

Analoga differenziazione è stata operata per il Canale Cavrato, assegnando un coefficiente di scabrezza di $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nel canale e di $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nelle aree della bassura allagabile.

Gli effetti delle perdite di carico localizzate, dovute ad eventuali ostacoli, restringimenti ed altro, sono stati descritti conglobando tali fenomeni in quelli della resistenza continua, scegliendo opportunamente i coefficienti di scabrezza, come è del resto usuale in problemi di questo tipo, nei quali si vogliono cogliere non tanto gli effetti locali quanto piuttosto gli effetti generali introdotti dalla presenza di eventuali singolarità.

Questi valori del coefficiente di scabrezza, che non è stato possibile definire sperimentalmente per mancanza di dati adeguati, sono in linea con quelli reperibili in letteratura e paragonabili a quelli adottati in altri studi, quali ad esempio il "Piano di Bacino del fiume Sile" dove è stato possibile, attraverso una ripetuta serie di misure contemporanee di livello e di portata, stimare tali coefficienti su appropriate basi sperimentali. Si deve rilevare peraltro che per l'alveo centrale del Tagliamento i suddetti coefficienti sono sensibilmente inferiori, di quasi il 30 %, a quelli ritenuti, peraltro senza confronto alcuno con dati sperimentali, dal già citato studio Hydromet. In quest'ultimo studio forse si "compensa" con un non del tutto credibile valore del coefficiente di scabrezza talune insufficienze dello schema unidimensionale utilizzato. Tale schema non può in particolare descrivere né gli aspetti bidimensionali del flusso sulle golene, né gli scambi continui di quantità di moto che si realizzano tra l'alveo centrale fortemente sinuoso e le golene confinate entro arginature con un assetto planimetrico molto più regolare, soprattutto nei tratti in cui le anse sono più pronunciate o dove queste zone laterali invase dalle piene subiscono sensibili variazioni di larghezza.

E' comunque da evidenziare l'importanza che assume per queste verifiche, riguardanti portate che sono al limite della attuale capacità dell'alveo la corretta individuazione dei coefficienti di scabrezza che caratterizzano il corso del fiume lungo tutto il suo tratto arginato.

Pertanto, pur ribadendo la ragionevolezza della scelta dei coefficienti di scabrezza secondo Strickler operata, non vi è dubbio che sussiste la necessità di valutare i valori di tale parametro con misure contemporanee di portata e di livello estese su lunghezze significative, riscontrando con il calcolo le grandezze idrometriche osservate.

Per quanto riguarda la rete minore e la rete di bonifica, i dati necessari per la schematizzazione dei canali sono stati forniti dal Consorzio Pianura Veneta. Della rete considerata sono stati, in particolare, fornite le quote del fondo dei tronchi di canale e la loro larghezza media, in modo tale da ottenere una buona descrizione del loro comportamento idraulico mediante gli elementi unidimensionali inseriti nel modello. Il Consorzio ha poi fornito i dati necessari per la schematizzazione del tratto terminale del Canale dei Lovi e della foce di Porto Baseleghe, ricavati da sezioni e rilievi batimetrici recentemente eseguiti.

Non sono state, invece, reperite sezioni aggiornate del tratto di Litoranea Veneta che va da Porto Baseleghe al Tagliamento, e del Canale Lugugnana, che raccoglie le acque delle idrovore Cesarolo, Fossadello e Bevazzana. Per tali elementi la schematizzazione è stata effettuata utilizzando i dati reperiti sulla CTR. Anche a tutti i canali della rete minore è stato assegnato un coefficiente di scabrezza K_s secondo Strickler di $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

Sempre dal Consorzio di Bonifica sono state poi fornite le caratteristiche di funzionamento degli impianti idrovori, inseriti nella schematizzazione sulla base degli elementi sintetizzati nella tabella seguente Tab. 3.1.

impianto	posizione		portata (l/s)	quote s.l.m.)	
	coord. N	coord. E		attacco	stacco
Musili	2362864	5065447	5000	-0.8	-1.6
Cesarolo	2366068	5061480	5800	-1.3	-1.7
Baseleghe	2362823	5057900	5800	-2.2	-2.5
Bevazzana	2365060	5059149	8500	-2.4	-2.9
Pradis	2362496	5064415	2000	-1.3	-1.7
Fossadello	2364495	5061320	4000	--	--
Bibione	2370212	5057132	3400	-0.5	-1.3
Cavratsi Nuovi	2361595	5059519	3200	-1.6	-1.9

Tabella 3.1 - Caratteristiche degli impianti idrovori considerati.

Risulta che le idrovore ubicate nel comprensorio esaminato sono complessivamente in grado di scaricare circa $38 \text{ m}^3/\text{s}$. In particolare gli impianti situati nel territorio compreso tra Tagliamento e Cavarato (idrovore Cesarolo, Fossadello, Bevazzana e Baseleghe) hanno una capacità massima complessiva di circa $24 \text{ m}^3/\text{s}$.

La Fig. 3.3 illustra il reticolo di calcolo ad elementi finiti utilizzato nel modello, che complessivamente è costituito da circa 4600 nodi, 7700 elementi bidimensionali triangolari, da 650 elementi unidimensionali e 450 tronchi speciali. Questi ultimi in particolare consentono di rappresentare l'eventuale fenomeno del sormonto delle arginature del F. Tagliamento e degli altri corsi d'acqua arginati che quindi sono descritti, dal punto di vista idraulico, come condizioni interne al modello. Tronchi speciali sono stati utilizzati anche per schematizzare la presenza dei maggiori rilevati che attraversano il comprensorio (Autostrada VE - TS, rilevato della ferrovia VE - TS, rilevato della S.S. 14). Elementi bidimensionali, invece, sono stati utilizzati per schematizzare le strade e gli altri rilevati minori, data la loro minore importanza ai fini dell'evoluzione del fenomeno indagato.

Nella stessa figura sono evidenziati anche i nodi in corrispondenza dei quali sono state introdotti i dispositivi che schematizzano il funzionamento degli impianti idrovori.

Diversamente da quanto si è fatto per le indagini condotte per il comprensorio del Canale dei Cuori e del Gorzone, poiché nel caso del Tagliamento lo scopo, almeno in questa prima fase, era quello di evidenziare i problemi del rischio idraulico connesso soprattutto con le eventuali esondazioni della rete idrografica naturale, non si sono considerati per il territorio servito dalla bonifica i contributi diretti delle precipitazioni al suolo. Si tratta di portate che sono, come è ovvio, di un ordine di grandezza inferiore a quelle che si verificano per eventuale tracimazione dei corsi d'acqua naturali. E' ovvio peraltro che lo schema che modella il territorio della bonifica potrebbe, senza particolari oneri, essere adattato in una fase successiva anche per esaminare situazioni locali di allagamento prodotte da insufficienze della rete formata dai canali della bonifica stessa. Ciò detto restano comunque significativi anche per le aree della bonifica gli stati di sofferenza e i tempi di sommersione dei terreni risultanti dalle indagini, nell'ipotesi che alla rete dei canali minori e agli impianti idrovori esistenti sia affidato il compito di prosciugare le aree eventualmente sommerse dalle esondazioni.

Sempre nella Fig. 3.3 sono indicate due sezioni in cui il modello simula il funzionamento di porte vinciane, che controllano il flusso in una direzione. Questi elementi sono stati introdotti in corrispondenza del collegamento fra la Litoranea Veneta e il Tagliamento presso Bevazzana, e all'intersezione del C. Lugugnana con la Litoranea Veneta stessa.

La successiva Fig. 3.4 rappresenta la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. La rappresentazione a scala di colori mostra come la parte settentrionale del comprensorio sia caratterizzata da una significativa pendenza dei terreni in direzione Nord Est - Sud Ovest, mentre la parte meridionale, a sud dell'ansa del Tagliamento a Cesarolo, sia invece caratterizzata da un'altimetria sostanzialmente uniforme e quote inferiori al livello medio del mare. In particolare si osserva un'ampia depressione nel territorio compreso fra il C. Lugugnana e il Tagliamento all'altezza di Bevazzana, dove le quote del terreno sono inferiori a -2 m s.l.m.

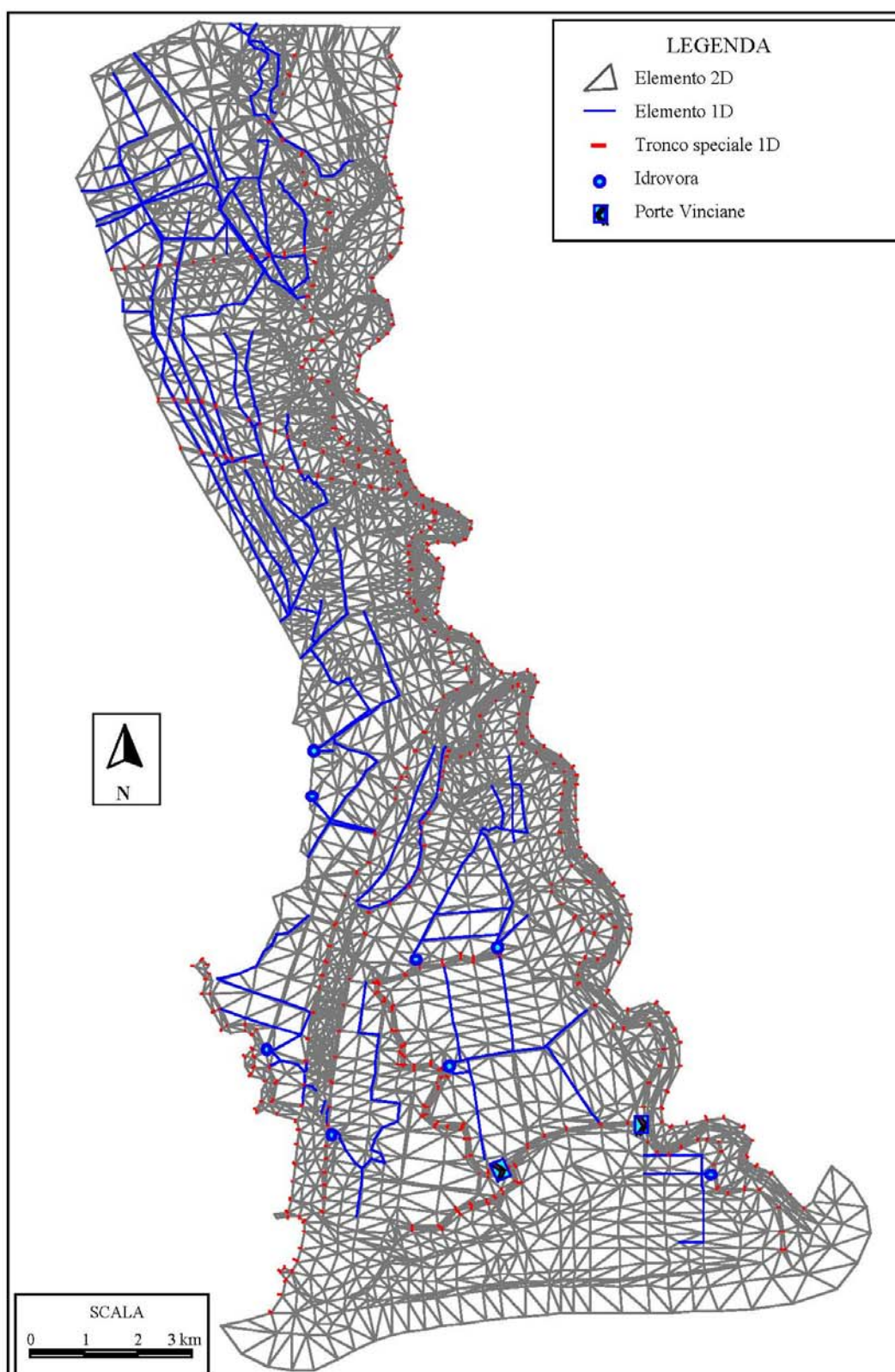


Fig. 3.3 - Reticolo di calcolo del modello matematico del tratto terminale del Fiume Tagliamento e del territorio adiacente.

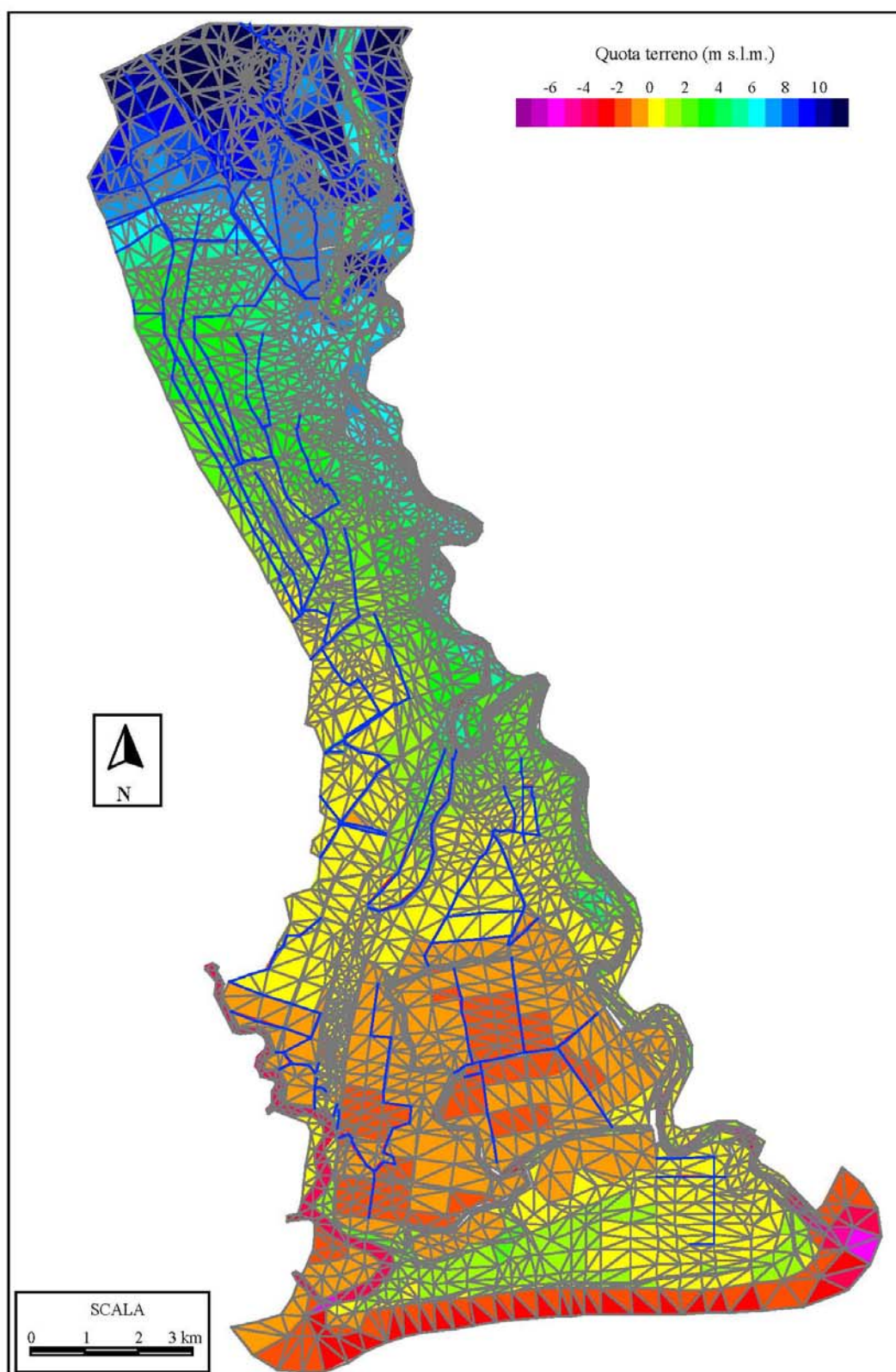


Fig. 3.4 - Modello matematico del tratto terminale del F. Tagliamento. Schematizzazione della altimetria del territorio considerato.

3.3 - Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni consistono principalmente nell'assegnazione dell'andamento delle portate entranti nel sistema, in corrispondenza dei nodi della sezione di monte del Tagliamento, e nell'andamento del livello idrometrico in corrispondenza dei nodi sul contorno aperto in mare.

In questo caso i nodi di monte si trovano all'altezza di Mussons, poco a valle del ponte di Madrisio, e quindi per eseguire le simulazioni è necessario conoscere l'idrogramma di piena del Tagliamento in ingresso a tale sezione.

Per gli scopi dell'indagine si è ritenuto opportuno esaminare gli effetti della propagazione di una piena analoga a quella verificatasi nei giorni 3 - 4 novembre 1966. Come si è detto tale evento ha avuto carattere eccezionale e in seguito ad esso si sono verificate numerose rotte degli argini del Tagliamento nel tratto a monte di Latisana, per sifonamento e tracimazione.

Per questa piena eccezionale i dati sperimentali disponibili sono relativamente limitati, e consistono, per quanto riguarda i livelli idrometrici, nelle registrazioni presso le sole stazioni di Invillino e Venzone. Per quanto riguarda le portate è possibile far riferimento alle registrazioni di livello e alle corrispondenti stime del flusso alla stazione di Pioverno.

Data l'inconsistenza dei dati sperimentali per determinare l'idrogramma di piena del Tagliamento nella sezione di monte del modello matematico, si è fatto riferimento allo "Studio con modello matematico afflussi - deflussi" [20] effettuato dalla società Bonifica per conto del Consorzio del Tagliamento nel 1991.

In tale studio si prendono in considerazione tutti i dati disponibili e, con un modello di tipo idrologico, si ricostruisce l'andamento delle portate nella sezione di Pinzano, alla chiusura del bacino montano del fiume.

In mancanza di dati sufficienti per ricostruire direttamente l'idrogramma di piena a valle del ponte di Madrisio, sezione di monte del modello, l'idrogramma di piena relativo alla sezione di Pinzano è stato trasferito "cinematicamente" fino a tale sezione, ipotizzando che nella propagazione della piena esso abbia subito solo un ritardo di fase, essendo gli effetti di laminazione dell'onda di piena compensati dagli eventuali contributi dei corsi d'acqua minori confluenti in tale tratto.

In Fig. 3.5 è rappresentato l'andamento nel tempo dell'idrogramma risultante nelle suddette ipotesi. Si osserva come l'onda di piena, di durata complessiva superiore a 50 ore, sia caratterizzata da due picchi successivi, dei quali il primo, attorno alla dodicesima ora, ha valore di portata al colmo di poco inferiore a $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il secondo, dopo la ventiquattresima ora, ha valore di portata al colmo pari a circa $4100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Come si evince dai numerosi studi che hanno esaminato l'evento di piena del 1966, ad esso può essere associato ad un tempo di ritorno all'incirca centennale. In particolare, nello studio idrologico contenuto nel già citato "Progetto dei lavori di ristrutturazione, sistemazione e impermeabilizzazione delle arginature destra e sinistra del F. Tagliamento a monte e a valle di Latisana" [19], si fissano per la sezione di Latisana i seguenti tempi medi di ritorno per alcune portate massime:

Portata massima a Latisana (m^3/s)	Tempo di ritorno (anni)
4000	80
3500	40
1800	$\cong 4$
1000	$\cong 2$

Sulla base di tali dati l'idrogramma rappresentativo della piena del '66, avente portata al colmo pari a $4100 \text{ m}^3/\text{s}$, costituirebbe perciò un evento con tempo di ritorno superiore ad 80 anni.

Accanto alla piena del 1966 nella stessa Fig. 3.5 è rappresentato anche un idrogramma di piena di entità inferiore, che prevede per la sezione di monte un valore al colmo pari a $3500 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore massimo corrisponde, secondo quanto indicato in precedenza, ad un evento con tempo di ritorno di circa 40 anni.

Per ricostruire l'andamento nel tempo di tale idrogramma è stato utilizzato lo stesso idrogramma di piena del '66, mantenendone invariata la forma e riducendone proporzionalmente tutti i valori di portata in modo tale da ottenere per il colmo il valore indicato di $3500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nei paragrafi successivi sono presentati i risultati ottenuti per le simulazioni effettuate.

Il primo caso esaminato (caso A) considera la propagazione della piena appena descritta, avente valore al colmo pari a $3500 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il secondo caso considerato (caso B) esamina gli effetti della piena analoga a quella del '66, con portata al colmo di $4100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per entrambi i casi le simulazioni partono da una condizione ipotetica iniziale di moto permanente ottenuta assegnando in ingresso una portata costante pari a $300 \text{ m}^3/\text{s}$ e portando il sistema verso una condizione di regime stazionario, prima di sovrapporvi il passaggio della piena.

Come è noto gli effetti disastrosi dell'alluvione del '66 lungo le coste venete furono accentuati anche per effetto degli eccezionali livelli di marea che si stabilirono nell'alto Adriatico in concomitanza con il passaggio del colmo della piena nei fiumi maggiori, rallentando il deflusso delle portate verso le foci.

In mancanza di dati specifici sull'andamento del livello alla foce del Tagliamento, per simulare in modo verosimile l'evento del 1966 nei calcoli si è assegnato sui nodi del contorno aperto in mare l'andamento reale del livello registrato in quei giorni, presso il mareografo di Punta Salute, a Venezia.

La Fig. 3.6 evidenzia l'andamento anomalo della marea in quei giorni, caratterizzato da un picco di 1.94 m sullo zero idrometrico di Punta della Salute¹ e da un periodo di quasi 24 ore consecutive durante le quali il livello si è mantenuto sopra la quota 1.0 m s.m.

Proprio per verificare l'effetto di tale anomalo andamento della marea, le simulazioni sono state effettuate considerando anche un andamento del livello di marea di tipo sinusoidale, con periodo di 12 ore e ampiezza di oscillazione pari ad 1.0 m, oscillante attorno alla quota 0.0 m s.m.. L'andamento di tale marea, riportato nella stessa Fig. 3.6, può essere considerato rappresentativo delle condizioni idrometriche che si verificano nell'alto Adriatico durante un periodo di sizigia in assenza di consistenti ed anomali effetti meteorologici.

I nodi in mare competono sia alla foce del Tagliamento, sia alla foce del Canale dei Lovi nel Porto di Baseleghe, sia alla fascia di mare antistante il litorale di Bibione.

Per tutti questi nodi è stato assegnato il medesimo andamento nel tempo del livello idrometrico.

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni sono completate dai dati sul funzionamento degli elementi speciali utilizzati (come si è detto nel paragrafo 3.1) per descrivere l'eventuale sormonto delle arginature. Come si è accennato tali elementi introducono di fatto

¹ Nota: In mancanza di dati di marea locali si è assunta alle foci del Tagliamento e del Canale dei Lovi e sul contorno aperto in mare la marea registrata a Punta della Salute il cui zero mareografico è situato a circa 24 cm al di sotto dello zero del medio mare Genova 1942 al quale sono riferiti i caposaldi IGM. Pertanto la marea considerata, essendo i caposaldi delle sezioni e del terreno quelli della cartografia IGM, riproduce per quanto riguarda il mare una quota massima superiore a quella che dovrebbe essersi in effetti verificata. Si tratta di una quota massima sostanzialmente coincidente con quella di 2 m, considerati però costanti nel tempo durante il passaggio di tutto il colmo di piena, assunta dallo studio Hydromet [6] per la situazione più gravosa tra quelle considerate.

Andamento della portata assegnata sul contorno a monte

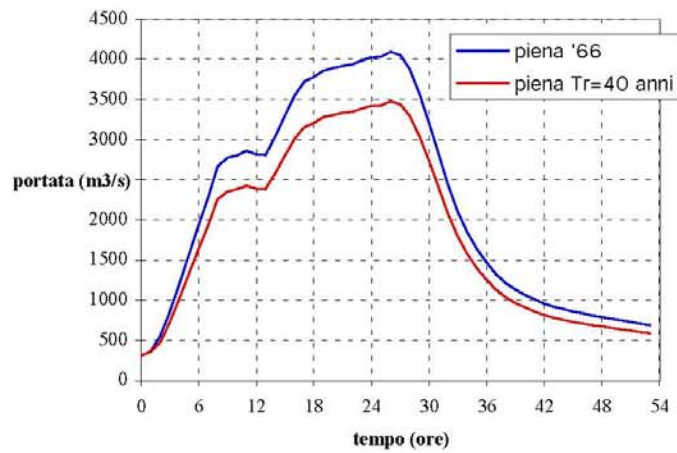


Fig. 3.5 - Modello matematico del F. Tagliamento. Andamento della portata assegnata come condizione al contorno sui nodi di monte.

Andamento del livello assegnato sul contorno in mare

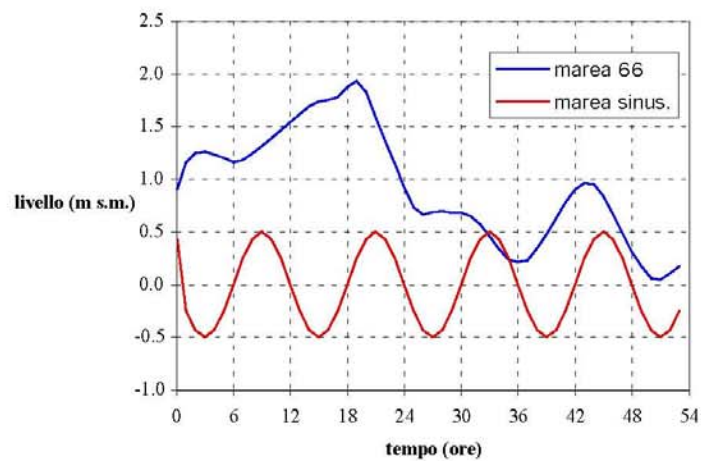


Fig. 3.6 - Modello matematico del F. Tagliamento. Andamento del livello assegnato come condizione al contorno sui nodi alla foce.

delle condizioni interne di sconnessione idraulica, il cui funzionamento è però controllato automaticamente dal programma di calcolo nel corso della simulazione.

Nel caso qui considerato, per semplicità, gli argini sono stati schematizzati come soglie sfioranti aventi quota del ciglio pari alla quota arginale dedotta dalle sezioni rilevate.

Infine il funzionamento del Canale Cavrato è stato schematizzato come una semplice diramazione del Tagliamento in corrispondenza di Cesarolo. Non esiste infatti attualmente in questa località un vero e proprio sfioratore. Semplicemente si constata che, quando il livello idrometrico nel Tagliamento supera la quota della sezione all'incile del Cavrato (pari a circa 4.15 m s.m.) le acque sono in parte deviate attraverso l'argine destro per defluire nel diversivo.

La larghezza totale della sezione dello scolmatore, al suo incile, è pari a poco più di 500 m.

Secondo quanto riportato negli studi precedenti sopra ricordati, le attuali caratteristiche geometriche dell'argine destro del Tagliamento fanno sì che il Cavrato entri in funzione solo quando in Tagliamento fluiscono portate superiori all'incirca a 1000 m³/s.

3.4 - Caso A - Simulazione della propagazione di un'onda di piena nel F. Tagliamento avente portata al colmo pari a 3500 m³/s all'altezza di Latisana

Le prime simulazioni (Caso A) si riferiscono alla propagazione nel Tagliamento di un'onda di piena avente valore al colmo pari a 3500 m³/s alla sezione di monte del dominio. Tale idrogramma (Fig. 3.5) corrisponde, secondo quanto indicato nel paragrafo precedente, ad un evento con tempo di ritorno dell'ordine dei 50 anni.

Il primo caso esaminato (Caso A.1) considera che contemporaneamente alla propagazione della piena alla foce si verifichi un'alta marea eccezionale con andamento analogo a quello del 1966, come indicato in Fig. 3.6 (valore al colmo di 1.94 m s.m.).

La Fig. 3.7 riporta l'andamento del livello idrometrico calcolato con il modello matematico in alcune sezioni significative lungo il F. Tagliamento e lungo il C. Cavrato.

Il primo grafico (Fig. 3.7 in alto) considera 5 sezioni lungo il Tagliamento, localizzate in corrispondenza della sezione di monte, dell'abitato di S. Michele (sez. 73 di Fig. 3.2), di Pertegada (sez. 35), di Bevazzana (sez. 10) e della foce. Si può osservare come in corrispondenza della sezione di monte il passaggio dell'onda di piena provochi un innalzamento del pelo libero di circa 4.5 m, passando il livello idrometrico dalla quota di circa 6.5 m s.l.m. all'istante iniziale alla quota di circa 11 m s.l.m. al momento del passaggio del colmo della piena attorno all'istante $t = 26$ ore. In corrispondenza della stretta di S. Michele il sovrалzo dovuto al passaggio dell'onda di piena è sensibilmente maggiore poichè il livello idrometrico si incrementa da circa + 2.0 m s.l.m. all'istante iniziale a circa + 8.70 m s.l.m. all'istante $t = 28$ ore.

A valle di Cesarolo i sovrалzi del pelo libero al passaggio dell'onda di piena sono più contenuti, anche per effetto della sottrazione di portata operata dallo scolmatore Cavrato. All'altezza di Pertegada il sovrалzo è di circa 3 m e le quote massime raggiunte sono dell'ordine di 5.2 m s.l.m.; all'altezza di Bevazzana il sovrалzo è di circa 2 m. L'influenza dell'alta marea è evidente solo per il tratto più prossimo alla foce, dove l'altezza massima si raggiunge attorno all'istante $t = 20$ ore, quando il livello di marea ha da poco superato il punto di colmo.

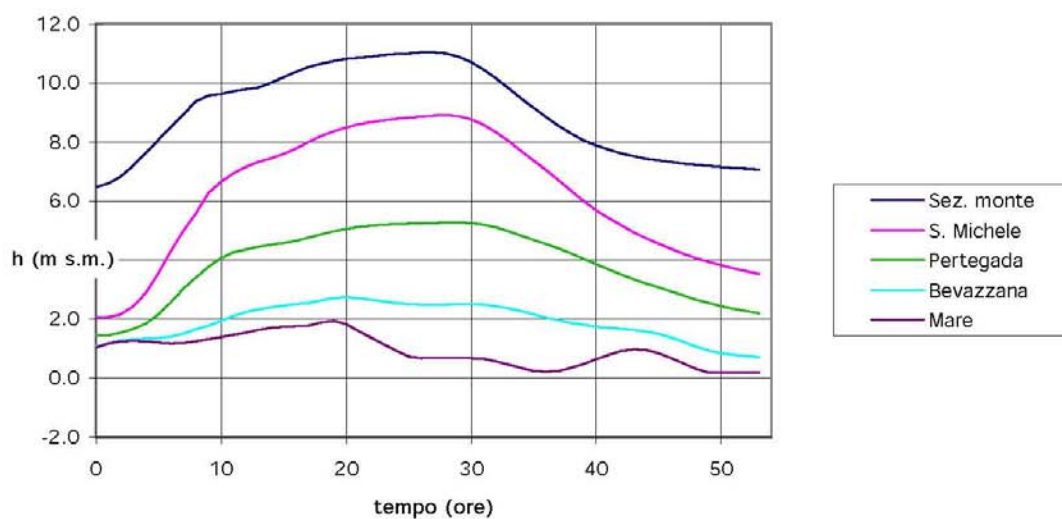
Il secondo grafico (Fig. 3.7 in basso) considera due sezioni lungo il Tagliamento ubicate a monte e a valle del Cavrato (a monte di Cesarolo, alla sez. 50, e a Pertegada alla sez. 35) e due sezioni lungo il C. Cavrato (a valle di Cesarolo, alla sez. 1C, e ai Prati Nuovi, alla sez. 9C). Si nota soprattutto il notevole sovrалzo che si verifica nel C. Cavrato al suo incile, poichè la quota del pelo libero raggiunge quote superiori a 5.5 m s.l.m., a fronte di quote iniziali di circa 1.1 m s.l. m. Le arginature del Cavrato sono qui poste a circa 6.5 m s. m., e quindi il franco minimo al passaggio della piena è di circa 1 m.

La situazione diventa critica nella parte meridionale del Cavrato, poichè, nelle ipotesi assunte, le arginature del Cavrato in sinistra non sono in grado di contenere le portate fluenti e il franco idraulico si riduce fino ad annullarsi con conseguente tracimazione.

L'analisi e la localizzazione delle situazioni critiche con riferimento ad eventuali insufficienze delle quote arginali è resa agevole dall'esame dei profili longitudinali che rappresentano l'involuppo dei livelli idrometrici massimi raggiunti nel corso della simulazione.

Le Figg. 3.7 e Fig. 3.8 illustrano l'andamento di tali profili per il F. Tagliamento e il C. Cavrato, utilizzando come riferimento i dati riportati nella Tabella 3.2 e nella Tabella 3.3, ottenuti individuando i nodi di calcolo posti in vicinanza delle sezioni rilevate e calcolando le distanze progressive lungo la traccia poligonale che congiunge tali nodi. Le quote del fondo indicate nelle stesse tabelle sono estratte dalla schematizzazione dei due corsi d'acqua con il modello matematico e si riferiscono all'intorno del nodo in cui è estratto il livello massimo

Caso A.1 - Andamento del livello nel F. Tagliamento



Caso A.1 - Andamento del livello nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

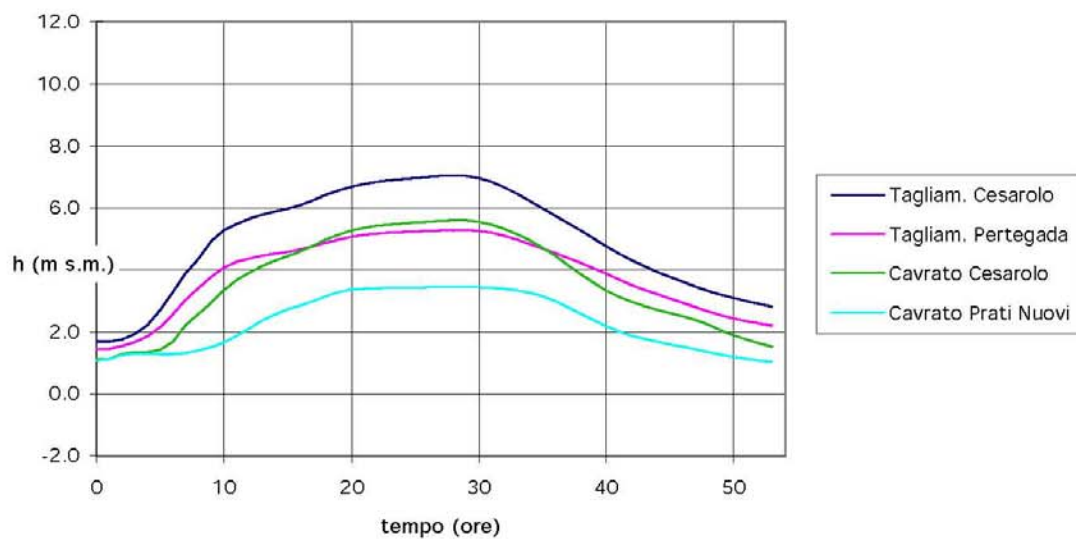


Fig. 3.7 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso A.1

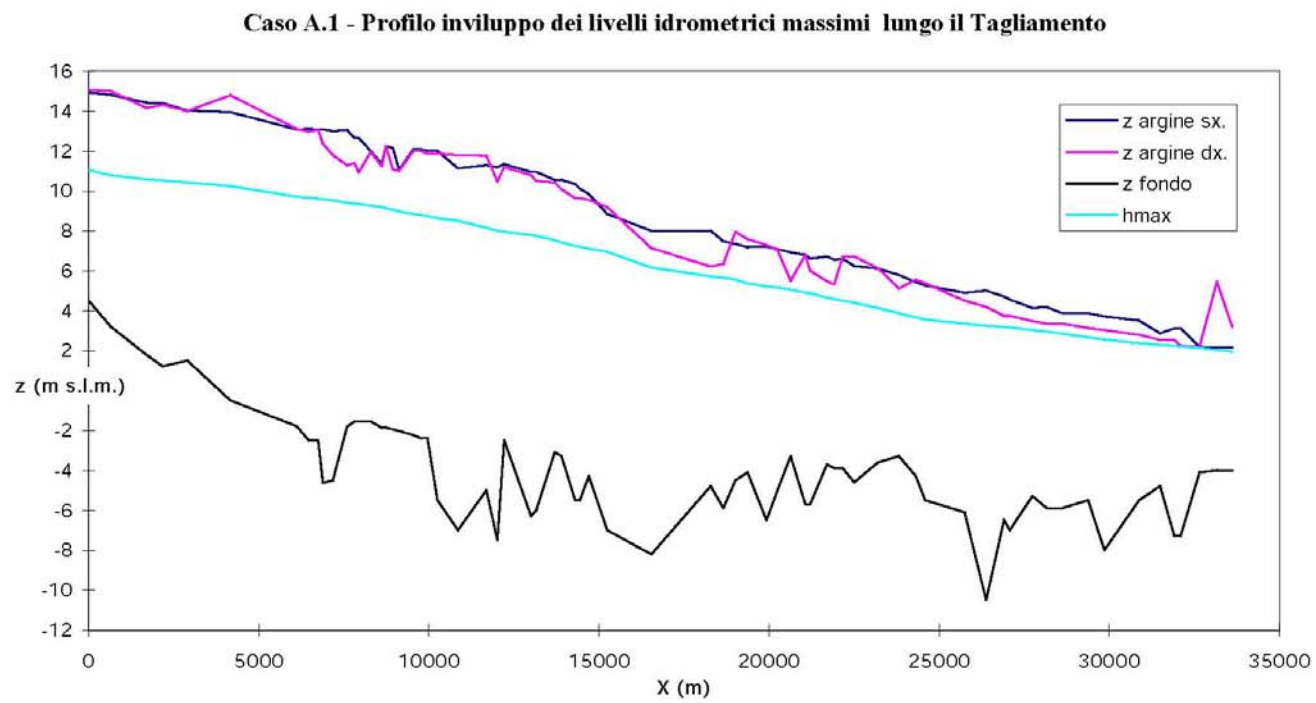


Fig. 3.8 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso A.1

raggiunto. Le quote arginali sono anch'esse dedotte dalla schematizzazione e corrispondono con buona approssimazione alle quote delle sommità arginali riportate nelle sezioni di riferimento.

Dall'esame della Fig. 3.7 si osserva che nel tratto del Tagliamento a monte dell'ansa di Cesarolo (che inizia attorno alla progressiva 15000 m), nelle ipotesi assunte il livello si mantiene sempre relativamente contenuto e tale da garantire un franco di sicurezza più che accettabile, superiore ai 2 m.

Il franco idraulico si riduce, invece, sensibilmente nel tratto a valle di Cesarolo, nonostante l'entrata in funzione dello scolmatore Cavrato.

L'esame del profilo idrometrico mostra infatti chiaramente che, sulla base delle sezioni utilizzate per la schematizzazione, le quote delle arginature in destra Tagliamento (lato Veneto) risultano generalmente più basse di quelle in sinistra (lato Friuli Venezia Giulia), e in alcuni punti in destra la piena produce quote idrometriche massime che arrivano a meno di un metro dalla sommità arginale.

I punti più critici si possono individuare in corrispondenza delle sezioni 37 (progressiva 18666), 32 (prog. 18666), 29 (prog. 21711) e 28 (prog. 21928).

Critica risulta infine la situazione in tutto il tratto terminale dell'asta, a valle di Bevazzana, dove le quote massime lambiscono le sommità arginali. Rilevante risulta in questo tratto l'effetto della marea, dato che il livello massimo in mare raggiunge la quota 1.94 m s.l.m., a fronte di arginature poste a quote di poco superiori ai 2 m s.l.m..

La Fig. 3.8 riporta il profilo inviluppo dei livelli massimi forniti dal modello per il Cavrato.

In questo caso si osserva chiaramente come le arginature in sinistra Cavrato risultino insufficienti per contenere le portate fluenti nello scolmatore in tutto il tratto compreso tra le sezioni 7C (prog. 3141) e 10 C (prog. 4934). In tale tratto conseguentemente si verifica la tracimazione dell'arginatura e l'allagamento del territorio adiacente.

I grafici di Fig. 3.9 illustrano l'andamento degli idrogrammi di portata gli idrogrammi di portata calcolati nelle medesime sezioni considerate in precedenza per i livelli idrometrici.

Il primo diagramma (Fig. 3.9 in alto) evidenzia come secondo il calcolo, nella propagazione dalla sezione di monte all'abitato di S. Michele l'onda di piena subisca un ritardo di poco più di tre ore, ma non risulti attenuata in modo significativo sul suo valore al colmo.

Di notevole entità è invece l'effetto operato dallo scolmatore del Cavrato, poichè a Pertegada, a valle della derivazione, la portata massima è di circa 1600 m³/s, a fronte dei 3500 m³/s in arrivo da monte.

Nella Fig. 3.9 (in basso) è illustrato nel dettaglio tale effetto, essendo riportato l'andamento della portata nel Tagliamento a monte e a valle di Cesarolo e in due sezioni lungo il C. Cavrato.

Secondo il calcolo per l'evento di piena esaminato lo scolmatore entra in funzione approssimativamente quando le portate nel Tagliamento raggiungono i 1000 m³/s, mentre le portate massime che defluiscono lungo la bassura del Cavrato superano sul passaggio del colmo della piena i 1700 m³/s.

Per il secondo caso esaminato (Caso A.2) si sono utilizzate le stesse condizioni al contorno del caso precedente (Caso A.1), ma si è ipotizzato che alla foce si verifichi una marea sinusoidale di ampiezza pari ad 1 m oscillante attorno alla quota 0.0 m s.m. (Fig. 3.6). In questo modo si è voluto indagare l'effetto di una diversa condizione di marea sulla propagazione dell'onda di piena e sugli eventuali fenomeni di esondazione.

La Fig. 3.11 riporta l'andamento del livello in alcune sezioni lungo il Tagliamento e lungo il Cavrato. Dal confronto con i corrispondenti grafici della precedente Fig. 3.7, relativa al caso A.1, si può osservare come il diverso andamento della marea alla foce in generale non modifichi in modo significativo l'andamento del livello nelle sezioni considerate. Fanno eccezione le sezioni

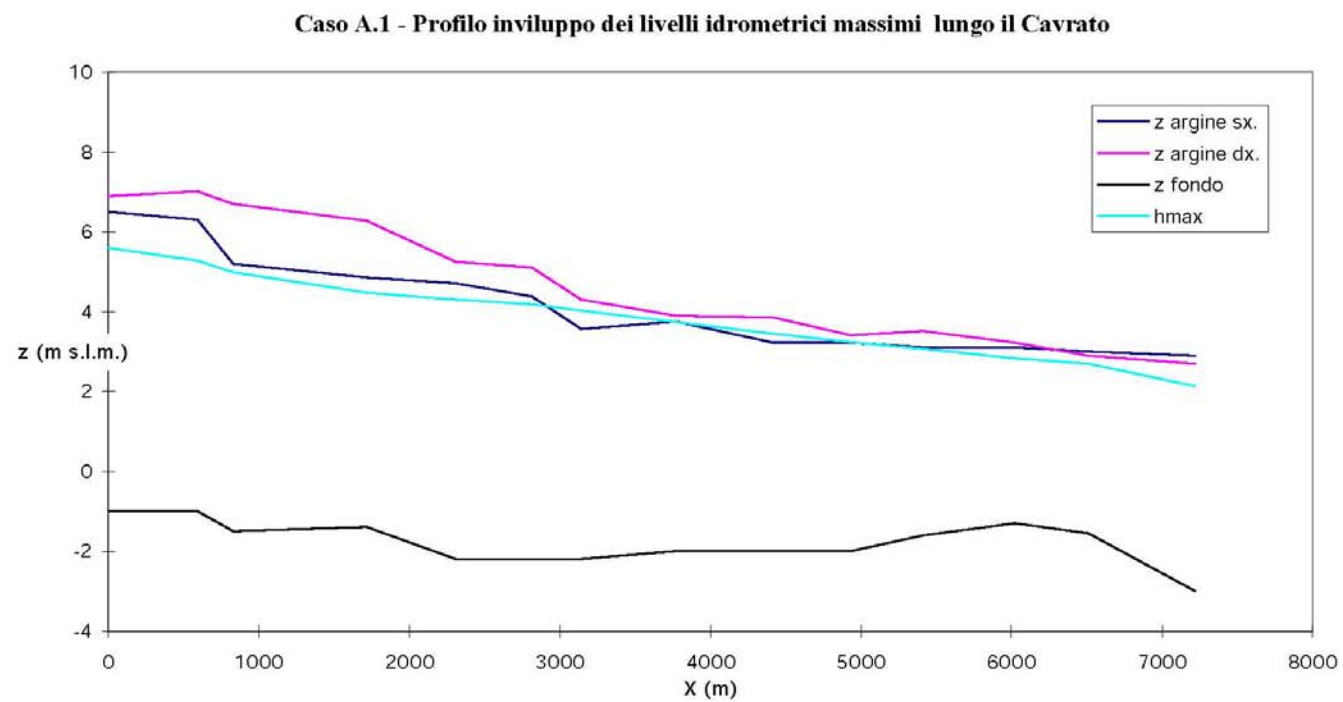
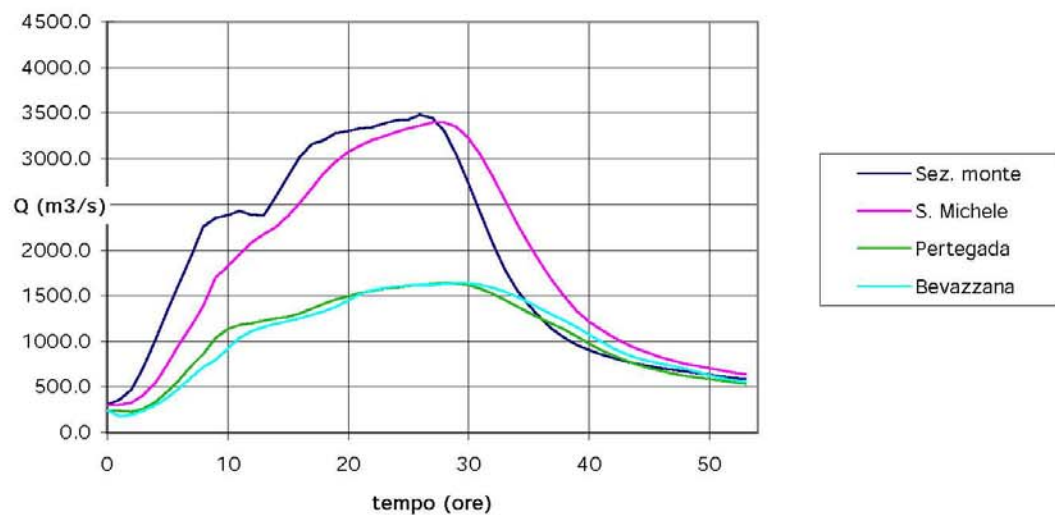


Fig. 3.9 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Cavrato calcolati nella simulazione relativa al caso A.1

Caso A.1 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso A.1 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

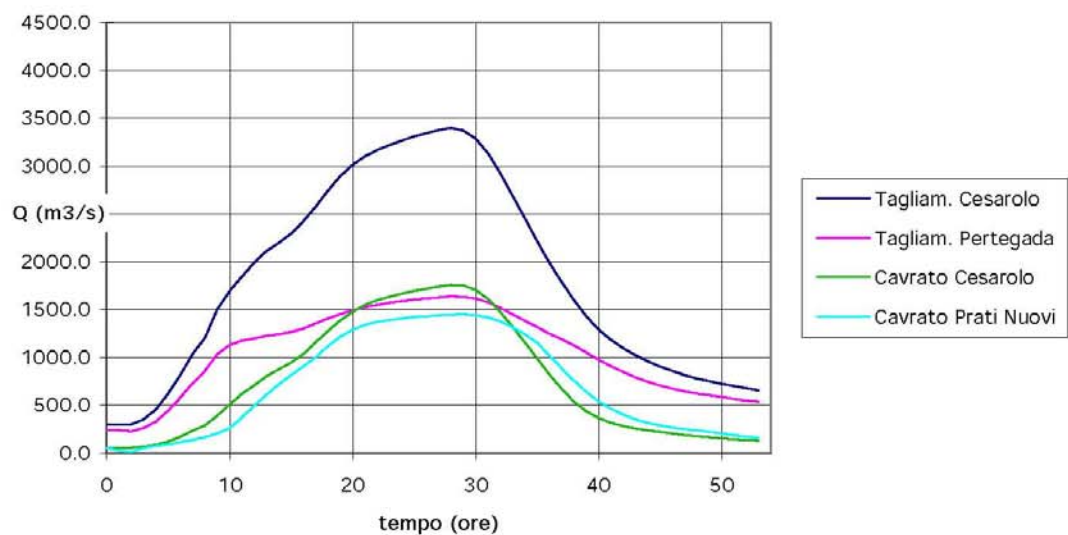


Fig. 3.10 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso A.1

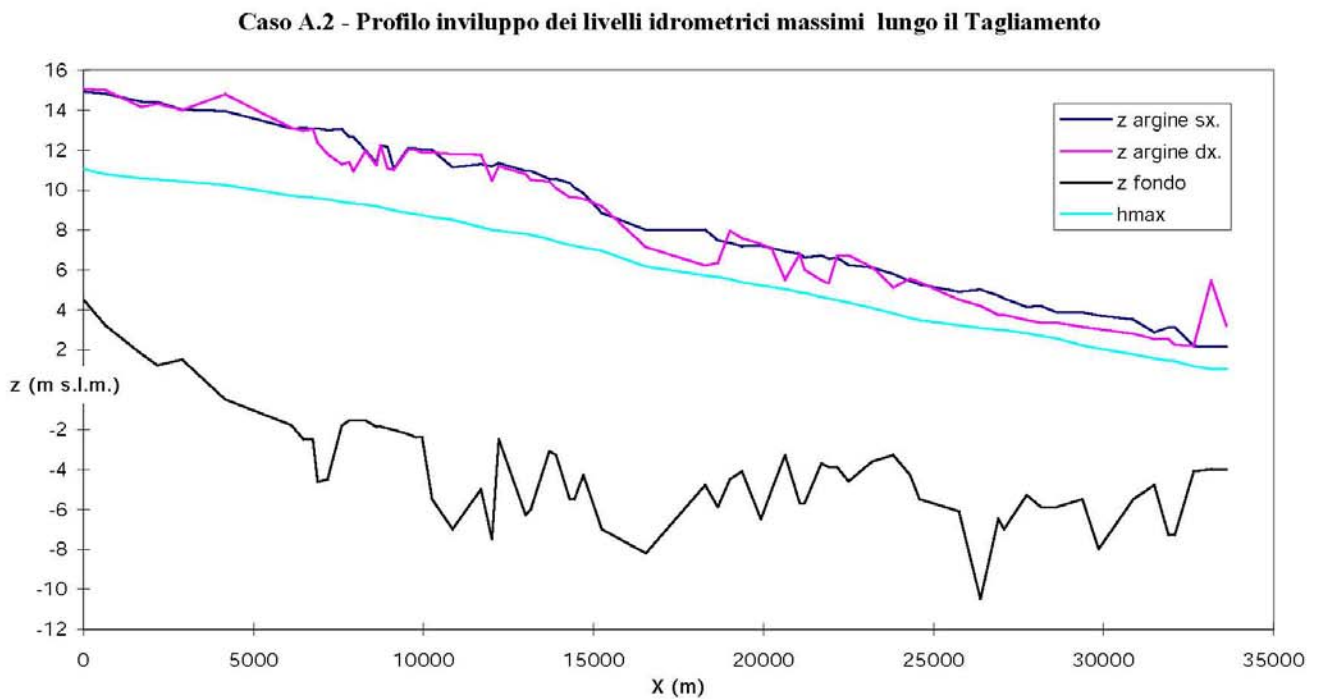


Fig. 3.12 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso A.2

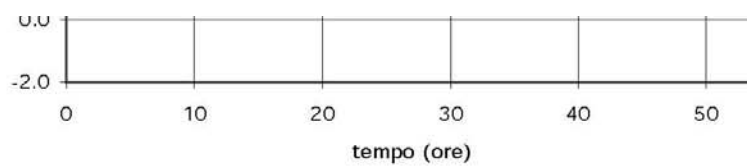


Fig. 3.11 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso A.2

poste nelle immediate vicinanze della foce. Ma se il livello nella sezione di Bevazzana risulta inferiore di circa 0.5 m rispetto al caso precedente, per le sezioni del Tagliamento poste più a monte la differenza fra i due casi è quasi impercettibile.

Modeste sono anche le differenze, rispetto al precedente caso A.1, per le sezioni considerate lungo il C. Cavrato (Fig. 3.11 in basso). Ciò sta ad indicare che gli stati idrometrici che si determinano lungo lo scolmatore dipendono principalmente dalle portate in arrivo da monte e non sono più che tanto influenzate dal livello di marea alla foce, né dal suo andamento nel tempo.

Le Figg. 3.12 e 3.13 riportano i profili inviluppo dei livelli massimi raggiunti, per il F. Tagliamento e per il C. Cavrato in questo caso.

Il confronto con gli analoghi elaborati di Fig. 3.8 e Fig. 3.9 mostra che per effetto dei minori livelli alla foce sono sostanzialmente migliorate le condizioni del tratto terminale del Tagliamento: le portate massime defluiscono ora con un franco idraulico di circa 1 m anche rispetto alle arginature in destra. Restano però ancora precarie le condizioni in corrispondenza delle sezioni a valle di Cesarolo, già individuate come critiche nella simulazione precedente (sezioni 37, 32, 29, e 28). In tali sezioni, rispetto alle sommità arginali, il franco in destra si riduce a meno di 1 m.

Il profilo idrometrico ottenuto per inviluppo delle quote massime raggiunte relativo al C. Cavrato evidenzia nuovamente lo stato di insufficienza delle arginature nella parte centrale del canale scolmatore, mentre nella parte di valle, per effetto dei minori livelli alla foce, il franco idraulico aumenta rispetto al precedente caso A.1.

Anche l'andamento delle portate fluenti (Fig. 3.14) non sembra risentire in misura significativa delle diverse condizioni di marea alla foce.

In particolare gli idrogrammi delle portate scolmate verso il C. Cavrato nel caso A.1 e nel caso A.2 sono praticamente coincidenti fra loro.

Le successive Figg. 3.15 e 3.16 illustrano con una sequenza di immagini la distribuzione delle altezze d'acqua nel comprensorio esaminato in istanti successivi delle due simulazioni considerate.

Con riferimento al F. Tagliamento la sequenza mostra come nelle fasi di passaggio del colmo dell'onda di piena ($t=20$ ore e $t=30$ ore) vengano ampiamente allagate le aree di espansione golenale nella parte settentrionale del fiume, a monte di Latisana, aree che poi si prosciugano nella fase di esaurimento della piena.

Al passaggio del colmo della piena sono allagate anche tutte le aree golenali della parte centrale e meridionale dell'asta, compresa la grande ansa di Cesarolo.

Le mappe a colori consentono però di visualizzare soprattutto come la già ricordata insufficienza delle arginature del C. Cavrato dia luogo a tracimazioni consistenti con conseguente allagamento delle campagne adiacenti nel bacino di S. Michele.

Il sormonto delle arginature in sinistra Cavrato in corrispondenza della sezione 8C inizia attorno all'istante $t=20$ ore e perdura per un tempo sufficiente per allagare diffusamente il territorio compreso tra Cesarolo e il C. Lugugnana (bacino delle idrovore Cesarolo e Fossadello), e per espandersi al territorio compreso tra il C. Lugugnana e la Litoranea Veneta (bacino dell'idrovora Bevazzana) e al territorio adiacente al basso Cavrato (bacino dell'idrovora Baseleghe).

A questi allagamenti si aggiunge il fatto che, per effetto dell'alta marea eccezionale alla foce, sono parzialmente allagate anche alcune zone situate in prossimità del litorale nel centro abitato di Bibione. Tali allagamenti derivano dalla tracimazione dei corsi d'acqua principali (Tagliamento, Canale dei Lovi e Litoranea Veneta) in alcuni punti in prossimità delle foci.

Caso A.2 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il Tagliamento

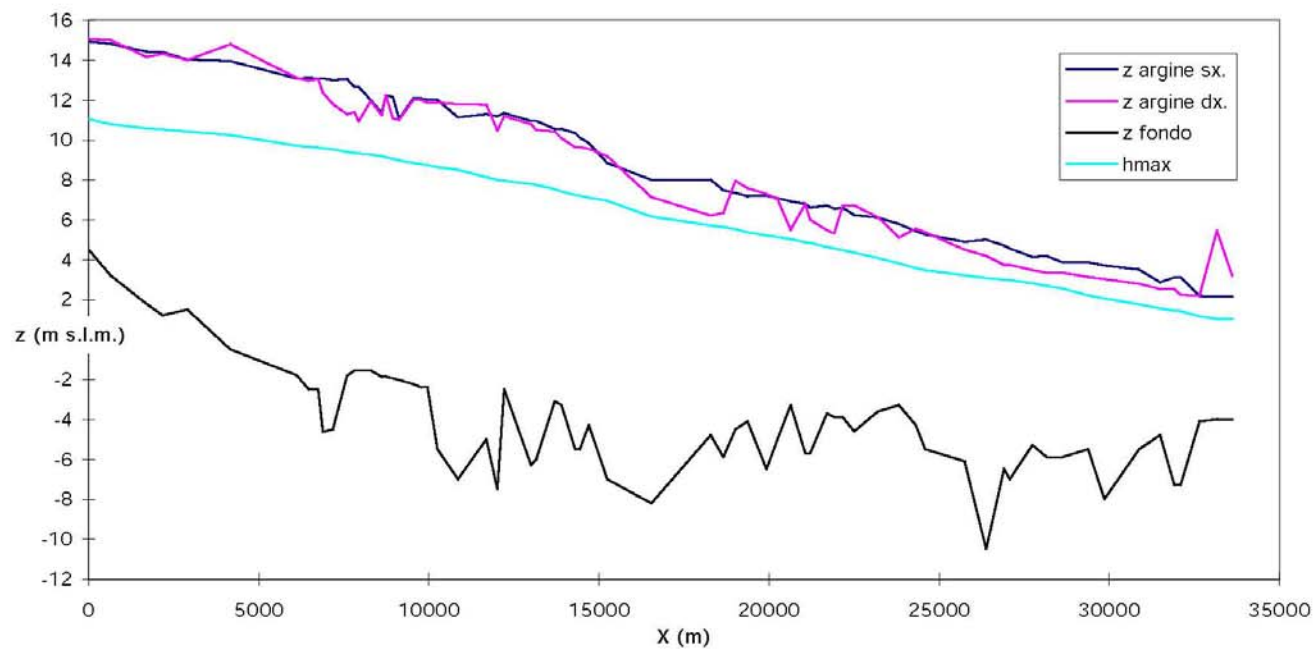


Fig. 3.12 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso A.2

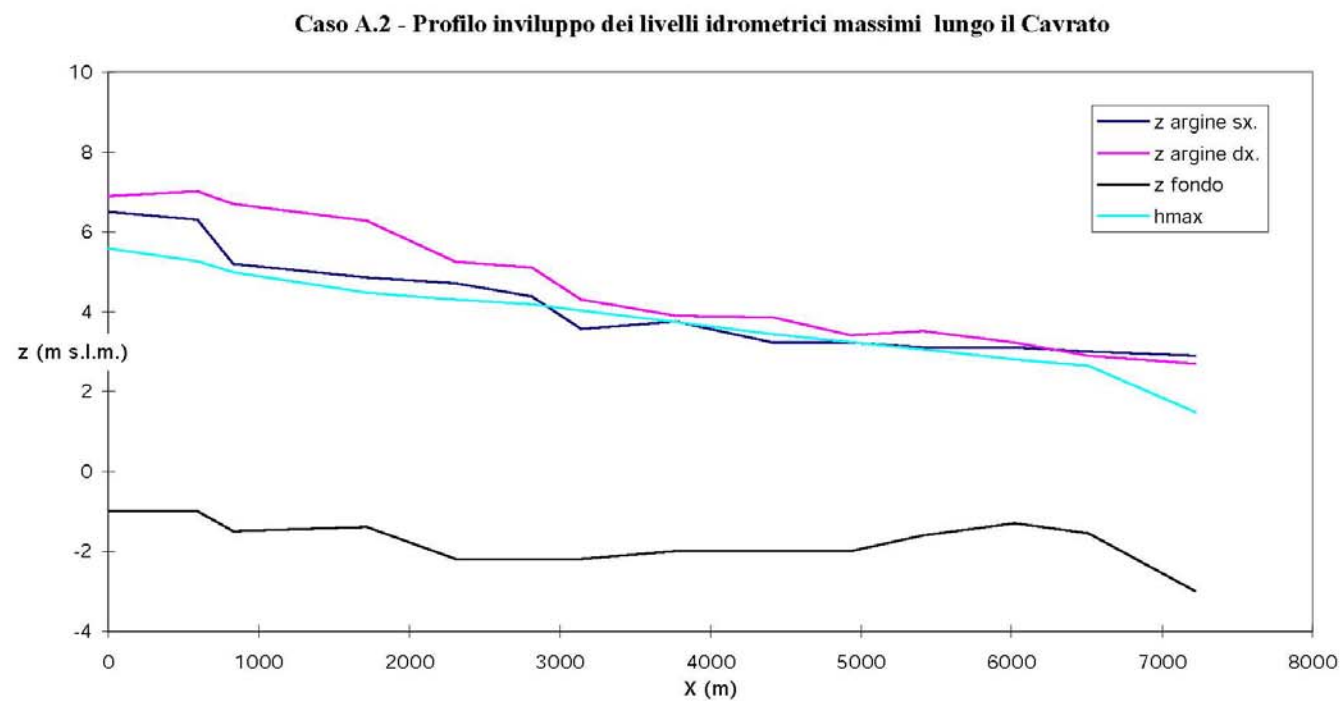
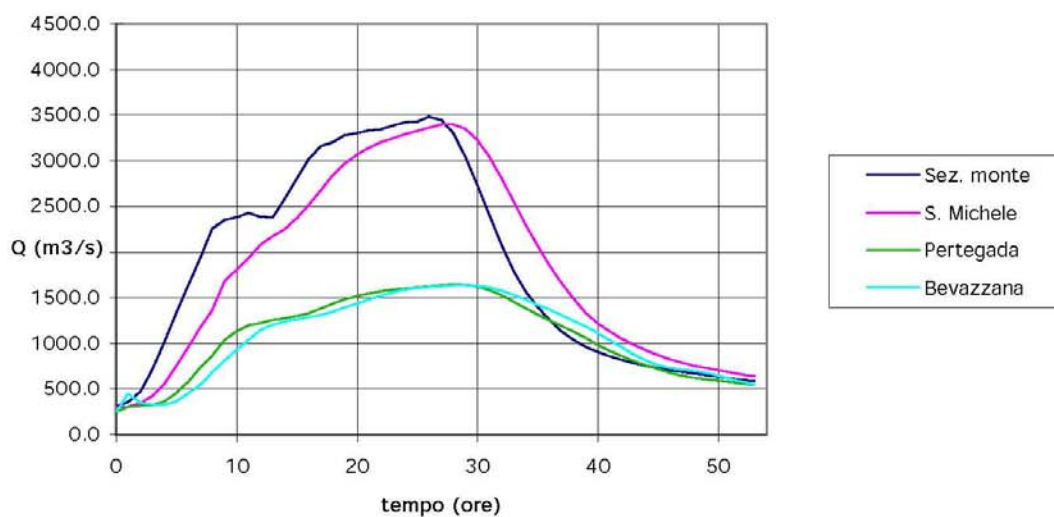


Fig. 3.13 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Cavrato calcolati nella simulazione relativa al caso A.2

Caso A.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso A.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

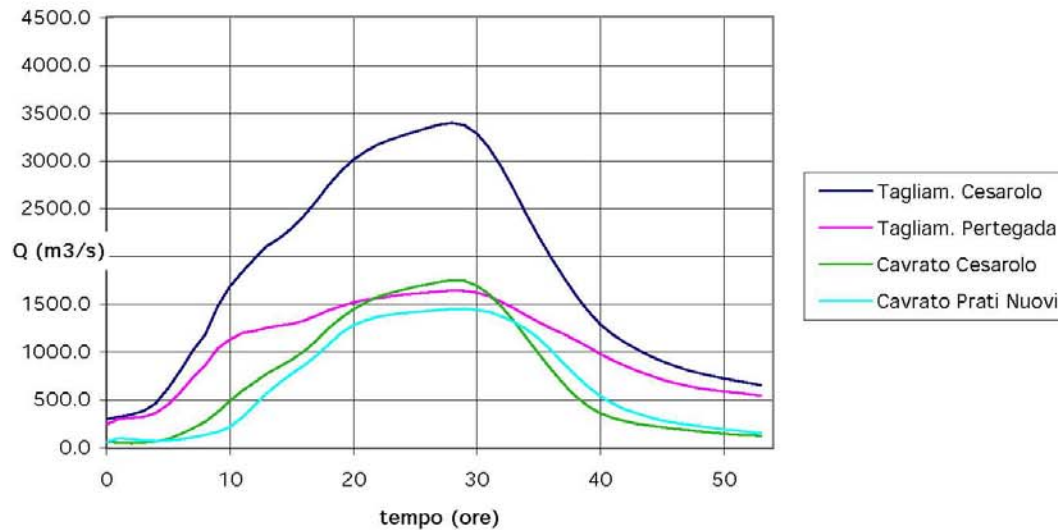


Fig. 3.14 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso A.2

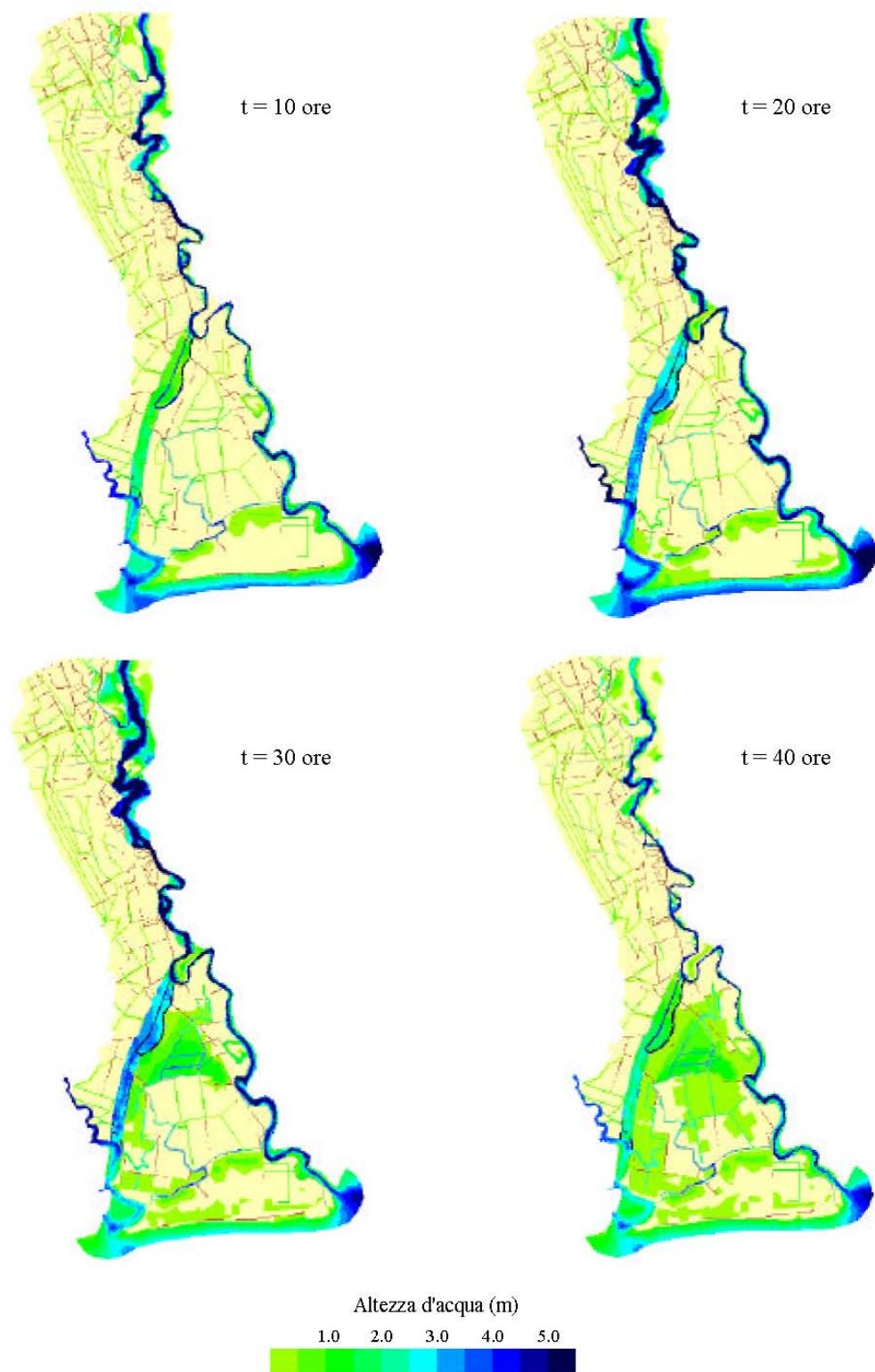


Fig. 3.15- Rappresentazione delle aree allagate nella simulazione relativa al caso A.1

La Fig. 3.16 riporta le medesime immagini con riferimento al secondo caso esaminato (Caso A.2).

Rispetto al caso precedente non si osservano differenze rilevanti per quanto riguarda il corso del Tagliamento. Per quanto riguarda invece l'allagamento prodotto dalle tracimazioni del Cavrato, le immagini mostrano che le superfici inondate sono leggermente inferiori in questo caso, poichè, come si è visto in precedenza, nel tratto terminale del Cavrato i livelli idrometrici massimi sono inferiori e il tratto d'argine soggetto al fenomeno si riduce.

Le differenze principali rispetto al caso precedente riguardano comunque i territori adiacenti al litorale e il centro abitato di Bibione, che in questo caso non vengono interessati dagli allagamenti.

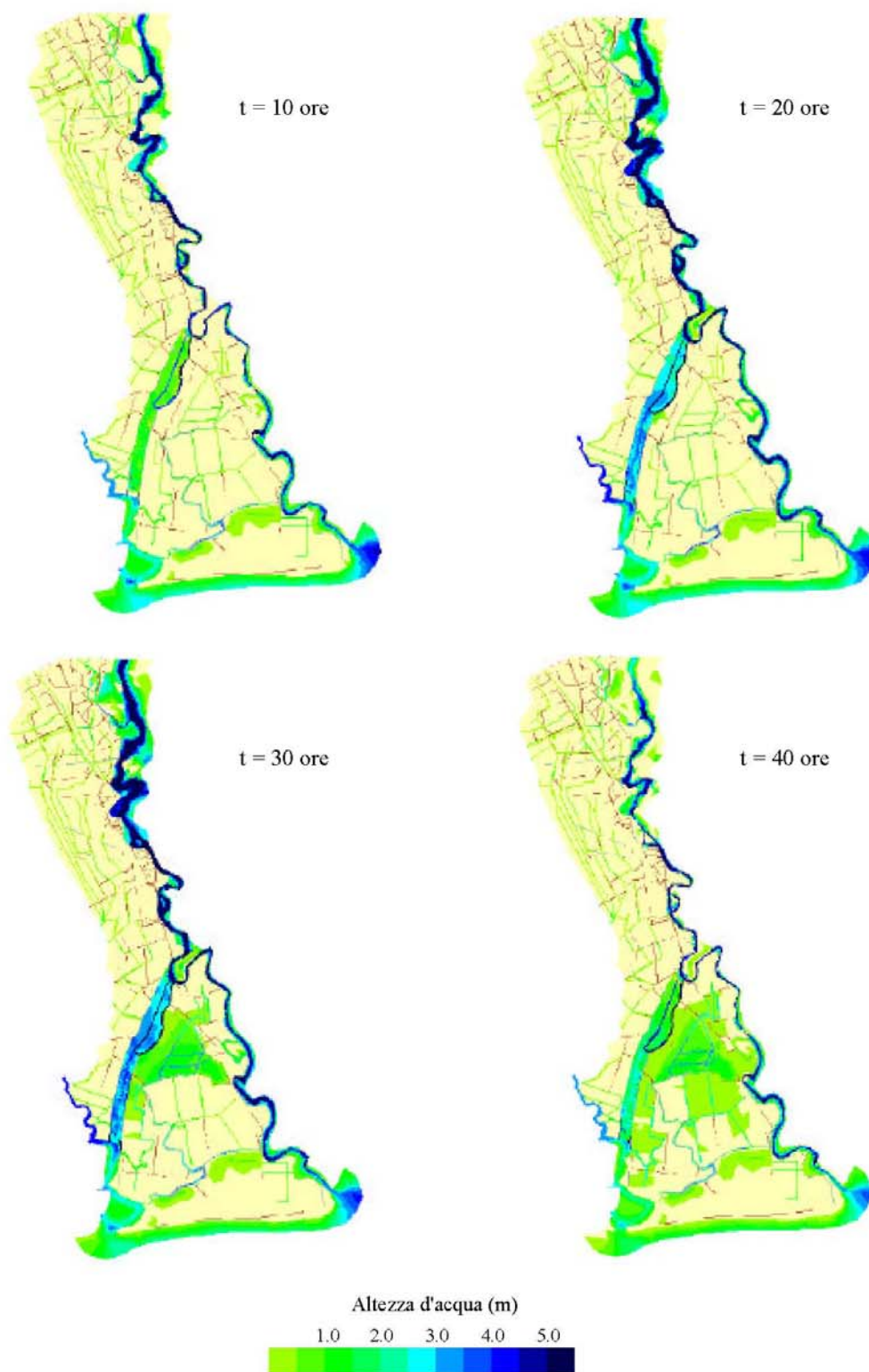


Fig. 3.16- Rappresentazione delle aree allagate nella simulazione relativa al caso A.2

3.5 - Caso B - Simulazione della propagazione di un'onda di piena nel F. Tagliamento analoga a quella del novembre 1966

La propagazione di un'onda di piena analoga a quella del 1966, ovvero caratterizzata da tempo di ritorno pari a circa 100 anni, è stata esaminata considerando, come al punto precedente, sia l'eventualità di un'alta marea eccezionale alla foce, paragonabile per andamento a quella effettivamente verificatasi nel novembre 1966 (caso B.1), sia considerando un'ipotetica marea di sizigia semidiurna avente andamento sinusoidale (caso B.2).

Una terza simulazione (caso B.3) ha esaminato il caso in cui, nelle stesse ipotesi assunte per il caso B.1, ad un certo istante, a causa delle tracimazioni lungo l'argine sinistro del Cavrato, si verifichi il cedimento di un tratto del corpo arginale là dove esso è sormontato dalle acque

Infine si è ritenuto significativo esaminare anche un quarto caso (caso B.4) nel quale, mantenendo invariate le condizioni al contorno utilizzate nel caso B.1, sono stati modificati i valori dei coefficienti di scabrezza degli elementi che descrivono il corso del F. Tagliamento, per verificare l'effetto prodotto sulle quote idrometriche massime e sui fenomeni di allagamento da una variazione dei coefficienti di resistenza al moto.

Per quanto riguarda il caso B.1, la Fig. 3.17 riporta l'andamento dei livelli nelle stesse sezioni del Tagliamento e del Cavrato già considerate nei casi precedentemente esaminati.

Si osserva che l'evento di piena ipotizzato produce un innalzamento del livello idrometrico dell'ordine di quasi 8 m all'altezza dell'abitato di S. Michele, dove nel momento del passaggio del colmo della piena si supera la quota 9 m s.l.m.

Anche a valle di Cesarolo le altezze raggiunte sono sensibilmente maggiori rispetto ai casi precedentemente esaminati. Tale incremento, dal confronto con la Fig. 3.7, è dell'ordine di circa 30 cm all'altezza di Pertegada e di circa 20 cm all'altezza di Bevazzana.

All'incile del C. Cavrato a Cesarolo per la piena esaminata il livello idrometrico massimo arriva a 6 m, ovvero quasi 2 m al di sopra della quota di sfioro (Fig. 3.17 in basso).

Nella parte bassa dello scolmatore (Prati Nuovi) le quote massime sono invece dello stesso ordine di quelle raggiunte nel caso della piena cinquantenaria, ma ciò è presumibilmente legato al fatto che gli argini sono in più punti sormontati dalla piena e quindi il livello è sostanzialmente controllato dalla quota del ciglio arginale.

I profili involuppo dei livelli idrometrici massimi riportati in Fig. 3.18 e Fig. 3.19 chiariscono meglio questi aspetti.

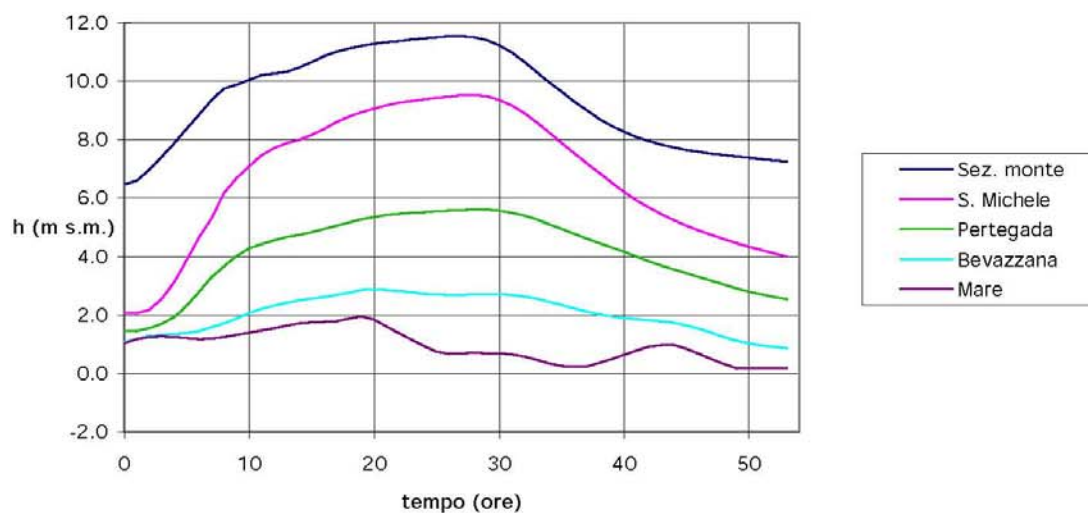
Lungo il Tagliamento (Fig. 3.18) nelle sezioni critiche già individuate nel caso della piena cinquantenaria si verificano condizioni ancora più gravi.

In particolare il franco idraulico si riduce fino quasi ad annullarsi nelle sezioni a valle di Cesarolo nel tratto in cui le quote dell'argine destro sono più depresse (sezioni 37, 32, 29, e 28). Condizioni particolarmente critiche si realizzano principalmente per le arginature sul lato destro, mentre lungo l'argine sinistro il franco è maggiore, e non scende al di sotto di 1 m.

Il modello segnala inoltre che a valle di Bevazzana, in prossimità della foce, in alcuni punti i livelli raggiungono le sommità arginali dando luogo a leggere tracimazioni, sia in destra che in sinistra.

Lungo il Cavrato (Fig. 3.19) le maggiori portate fluenti rispetto ai casi precedenti provocano in più punti il sormonto delle arginature in sinistra. Le condizioni critiche delle difese arginali riguardano in pratica tutto il corso dello scolmatore, ad eccezione del tratto iniziale, a monte della sezione 3C (vedi Fig. 3.2).

Caso B.1 - Andamento del livello nel F. Tagliamento



Caso B.1 - Andamento del livello nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

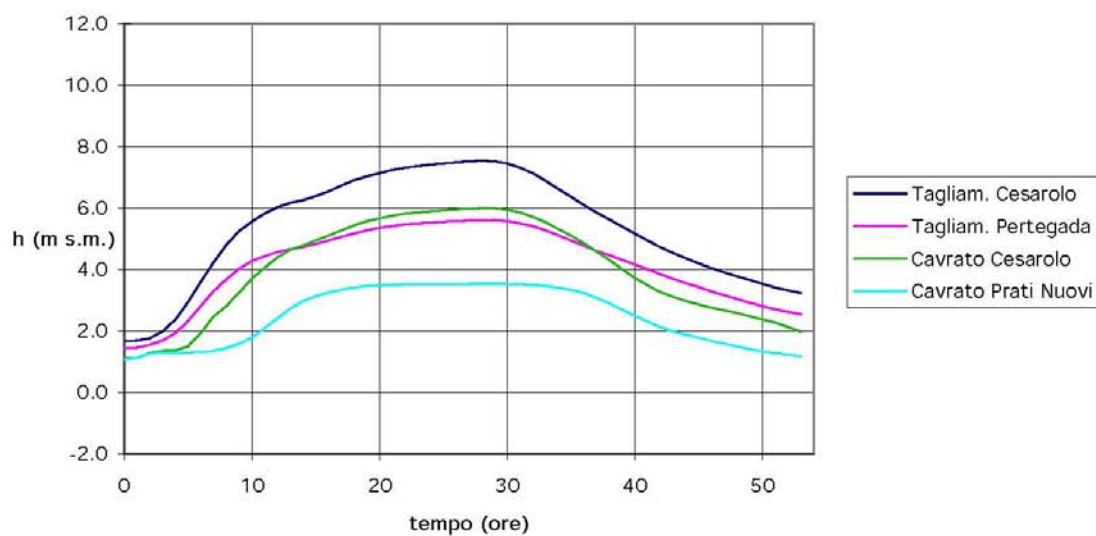


Fig. 3.17 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.1

Caso B.1 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il Tagliamento

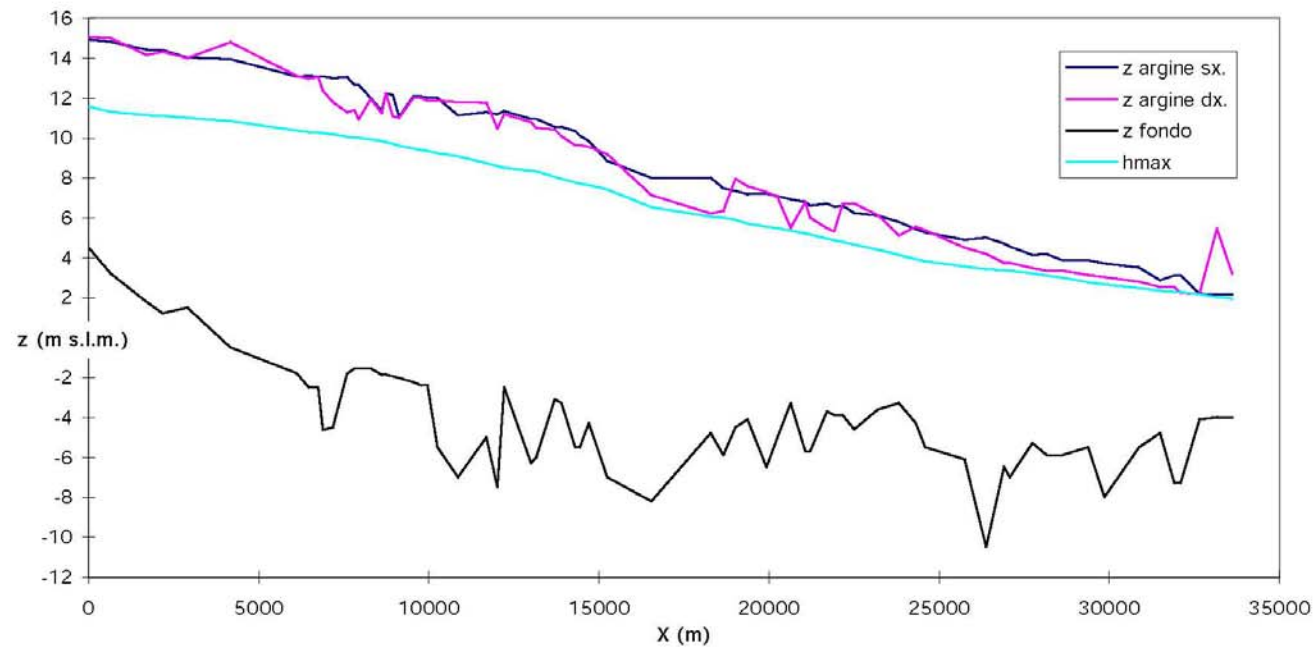


Fig. 3.18 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso B.1

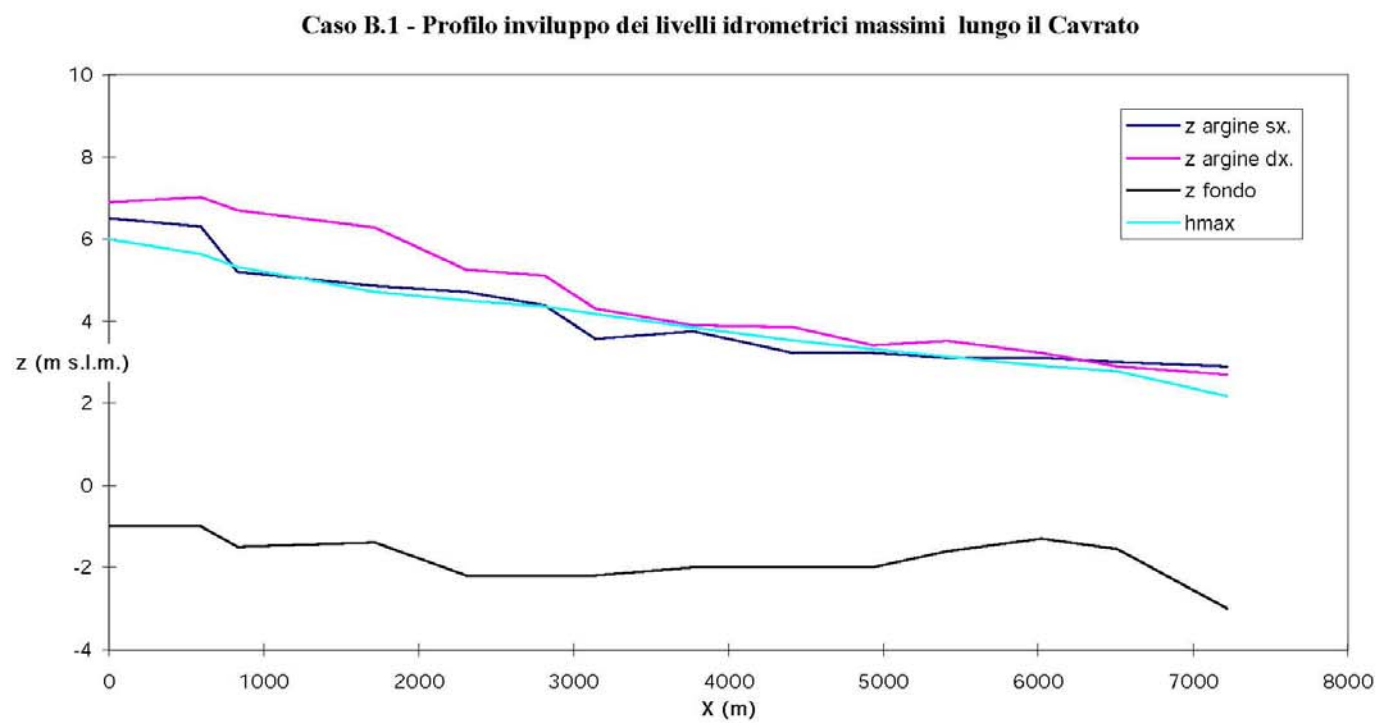
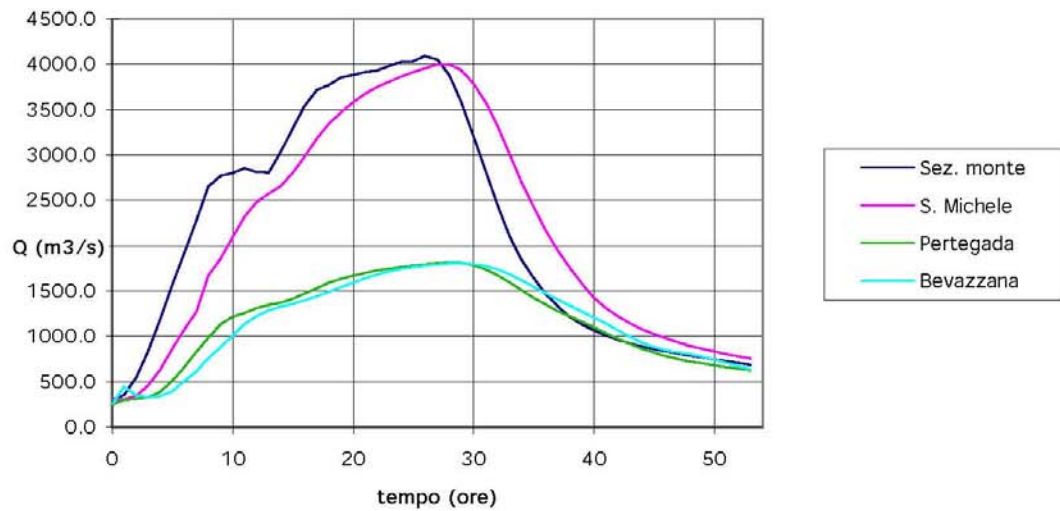


Fig. 3.19 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Cavrato calcolati nella simulazione relativa al caso B.1

Caso B.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso B.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

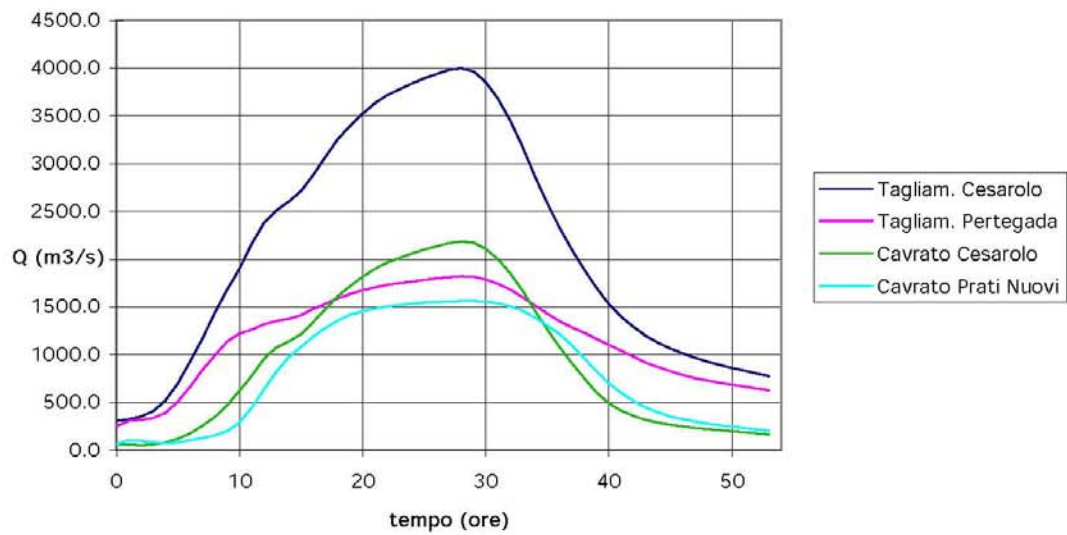


Fig. 3.24 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.2

Nella Fig. 3.20 è riportato l'andamento delle portate nelle sezioni di riferimento scelte lungo il Tagliamento. In questo caso, a fronte di portate massime in ingresso al nodo del Cavrato dell'ordine di $4000 \text{ m}^3/\text{s}$, quelle derivate dallo scolmatore raggiungono i $2200 \text{ m}^3/\text{s}$, per cui nel Tagliamento a valle di Cesarolo fluiscono oltre $1800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Di fatto quella descritta rappresenta probabilmente una situazione ancor più gravosa di quella realmente verificatasi nel '66, poichè nella simulazione l'onda di piena che si presenta a Latisana si propaga integralmente verso la foce.

Nella realtà quell'evento catastrofico, a causa delle rotte e tracimazioni verificatesi a monte di Latisana, è presumibile che abbia dato luogo a portate massime convogliate a valle dell'abitato inferiori a quelle simulate dal calcolo che considera per le arginature le quote derivanti dagli interventi nel frattempo realizzati.

Nella simulazione relativa al caso B.2 si sono assegnate le stesse condizioni al contorno del precedente caso B.1, ma si è ipotizzato che la marea alla foce segua un andamento semidiurno di tipo sinusoidale, come quello riportato in Fig. 3.6.

La Fig. 3.21 illustra l'andamento del livello idrometrico nelle sezioni lungo il Tagliamento. Il confronto con la precedente Fig. 3.17 consente di rilevare che le diverse condizioni di marea assegnate alla foce non producono sostanziali differenze sui livelli per la parte più a monte del tratto fluviale considerato.

Solamente alla sezione di Bevazzana (sez. 10), situata a meno di 6 km dal mare, l'effetto della marea è sensibile; il livello massimo raggiunto dall'acqua è pari a circa 2.9 m s.l.m. attorno all'istante $T=20$ ore, nel caso dell'alta marea eccezionale, mentre nel caso della marea sinusoidale il livello massimo si raggiunge attorno all'istante $T=30$ ore e vale circa 2.6 m s.l.m..

Ma già alla sezione di Pertegada (sez. 35) situata a poco più di 15 km dalla foce, le differenze fra i due casi sono quasi trascurabili. In entrambe le situazioni si raggiunge, infatti, il livello massimo di circa 5.60 m s.l.m., attorno all'istante $T=30$ ore.

Anche per il Cavrato l'effetto della marea risulta modesto; fanno eccezione gli istanti relativi alla prima parte della simulazione, fino all'istante $T=10$ ore, nei quali, a causa delle minori portate fluenti, le condizioni di livello alla foce influenzano sensibilmente i livelli nel tratto terminale dello scolmatore. Tali effetti si riducono progressivamente al crescere della portata in arrivo da monte e nelle fasi di passaggio del colmo, anche in questo caso a causa delle tracimazioni degli argini, le altezze d'acqua massime che si raggiungono sono principalmente controllate dalle quote degli argini stessi.

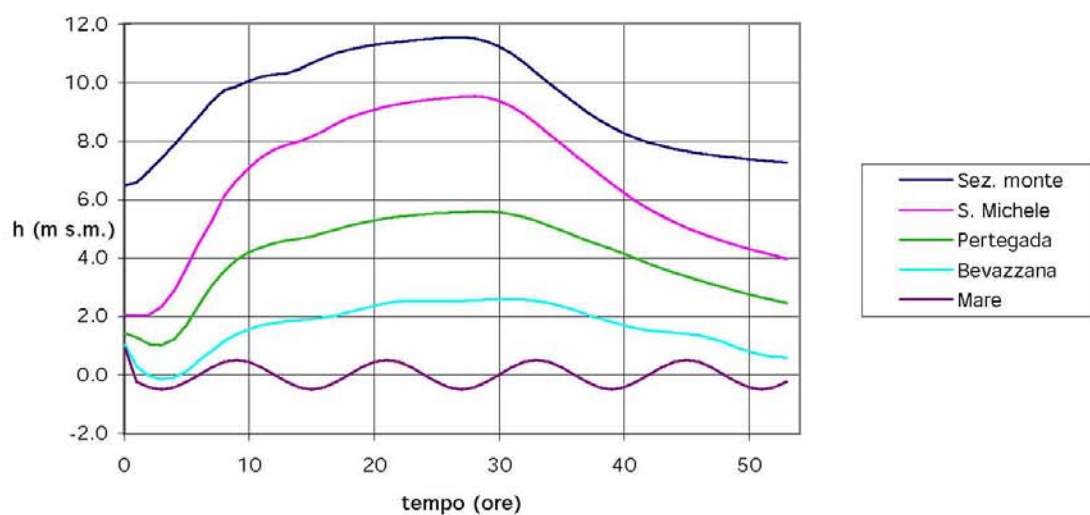
Le Figg. 3.22 e 3.23 illustrano l'andamento dei profili inviluppo delle altezze massime raggiunte.

Il profilo relativo al Tagliamento mostra che permangono le condizioni estremamente critiche nelle sezioni immediatamente a valle di Cesarolo (sezioni 37, 32, 29, e 28), nelle quali il franco idraulico praticamente si annulla.

Migliorano, invece, le condizioni nel tratto terminale, dove per i minori livelli imposti dalla marea le quote idrometriche massime non giungono più a lambire le sommità arginali. Il franco idraulico risulta comunque, anche in questo tratto, inferiore ai valori di sicurezza, poichè in più punti esso si riduce a meno di 1 m.

Il profilo relativo al Cavrato (Fig. 3.23) mostra a sua volta che per l'evento considerato i tiranti massimi che si stabiliscono nel canale scolmatore sono tali da superare abbondantemente le quote delle sommità arginali in sinistra, dando luogo a tracimazioni. Ciò avviene principalmente nella parte intermedia dello scolmatore, mentre nella parte terminale, prossima allo sbocco nel Canale dei Lovi, le acque sono contenute nelle arginature anche se con valori del franco inferiori a valori di sicurezza.

Caso B.2 - Andamento del livello nel F. Tagliamento



Caso B.2 - Andamento del livello nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

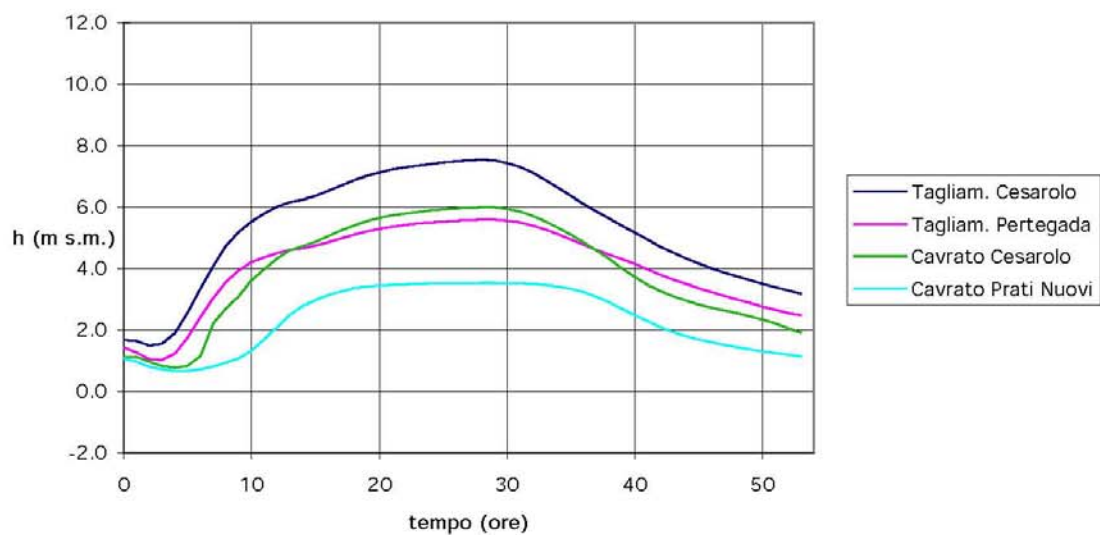


Fig. 3.21 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.2

Caso B.2 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il Tagliamento

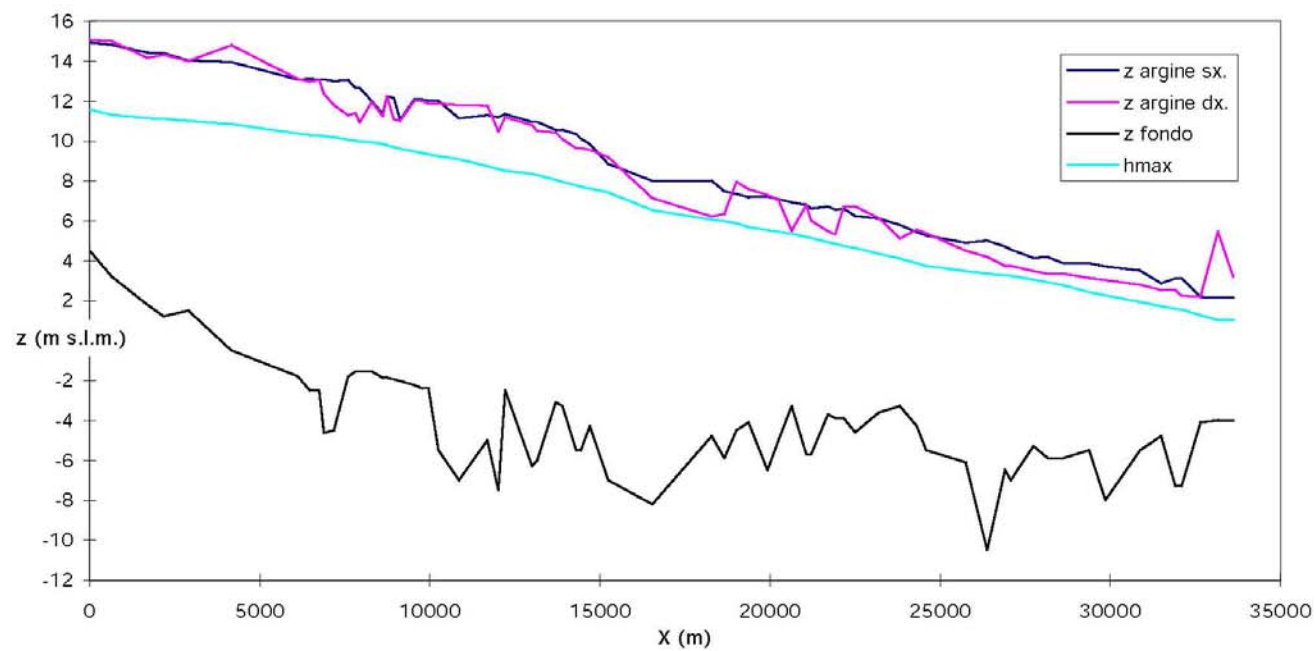


Fig. 3.22 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso B.2

Caso B.2 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il Cavrato

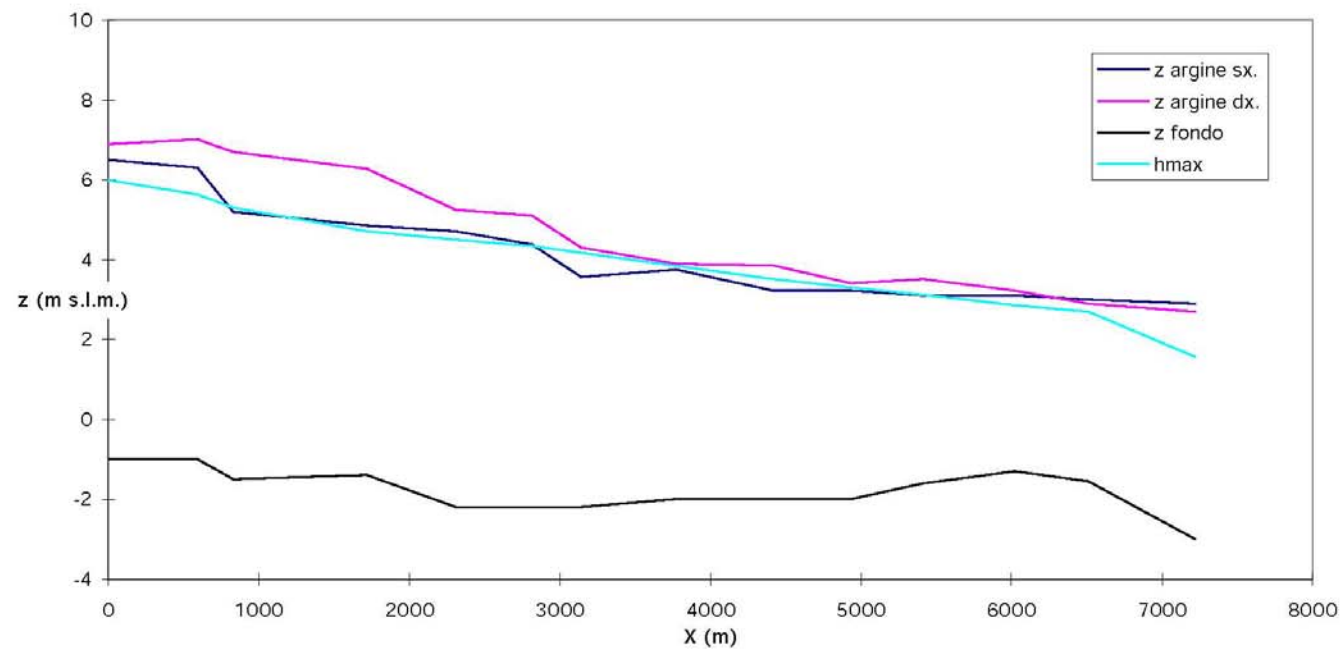


Fig. 3.23 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Cavrato calcolati nella simulazione relativa al caso B.2

La Fig. 3.24 riporta l'andamento delle portate fluenti nelle sezioni di riferimento considerate. Il confronto con la precedente Fig. 3.20 evidenzia che le differenze fra i due casi sono quasi impercettibili e ciò conferma ancora una volta che le diverse condizioni di marea assegnate alla foce a distanze non rilevanti dalla foce stessa non influiscono in modo significativo sulla propagazione di un'onda di piena di proporzioni paragonabili a quella del '66.

Nella terza simulazione relativa alla propagazione della piena del '66 (Caso B.3) si sono utilizzate le medesime condizioni al contorno assegnate nel caso B.1, ma si è ipotizzato che, a causa delle tracimazioni lungo l'argine sinistro del Cavrato, ad un certo istante si verifichi il cedimento di un tratto del corpo arginale là dove esso è sormontato dalle acque.

Il punto individuato come maggiormente critico, sulla base dei risultati dei calcoli precedenti, si trova immediatamente a monte della confluenza fra il C. Cavrato e il C. Lugugnana, tra le sezioni 6 e 7 (vedi Fig. 3.2).

La simulazione prevede che la rotta inizi all'istante $t = 17$ ore, quando nel tratto considerato inizia praticamente il sormonto dell'argine, e che nell'arco di 1 ora si apra sulla difesa longitudinale una breccia della larghezza di 50 m e di 2 m di altezza.

Nella Fig. 3.25 sono riportati gli andamenti dei livelli calcolati nelle ipotesi descritte in alcune sezioni significative. I grafici di tale figura possono essere utilmente confrontati con quelli di Fig. 3.17, relativi al caso B.1.

L'effetto della rotta sui livelli nel Tagliamento è, come del resto si poteva prevedere, trascurabile, data la relativa lontananza dall'incile del Cavrato del tratto interessato dal fenomeno. Evidente è, invece, l'effetto della rotta sui livelli nel Cavrato, poichè nell'ultima delle sezioni considerate lungo lo scolmatore (Prati Nuovi) si osserva un brusco abbassamento del livello provocato dalle importanti riduzioni delle portate fluenti per fuoriuscita d'acqua attraverso la rotta a monte.

Modeste, invece, sono, come si è detto, le differenze sui livelli nella sezione del Cavrato situata all'incile di Cesarolo.

La Fig. 3.26 riporta l'andamento delle portate fluenti. Il confronto con i grafici corrispondenti relativi al caso B.1 (Fig. 3.20) mostra che le differenze fra i due casi sono modeste.

L'effetto del crollo dell'argine sulle portate si nota nei grafici relativi al Cavrato (Fig. 3.26 in basso) ma solamente in misura apprezzabile per la portata che percorre il tratto di valle del Cavrato stesso.

Nel F. Tagliamento il fenomeno del crollo arginale non produce effetti significativi sulle portate, essendo la rotta situata abbastanza lontano dall'incile dello scolmatore.

Le Figg. 3.27, 3.28 e 3.29 rappresentano la distribuzione delle altezze d'acqua in tutto il sistema con una successione di immagini relative a diversi istanti di ciascuna delle tre ultime simulazioni.

Come si può notare le immagini relative al caso B.1 (Fig. 3.27) mostrano che la piena considerata (circa $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ a Latisana) è tale da inondare in modo generalizzato il Tagliamento, interessando nella fase di passaggio del colmo della piena anche le ampie fasce di espansione golenale della parte alta del fiume a monte di Latisana, mentre resta esclusa dall'inondazione solo parte dell'ansa di Isola Picchi, a valle di Pertegada.

La stessa Fig. 3.27 evidenzia che anche tutta la bassura dello scolmatore Cavrato risulta completamente allagata e, soprattutto nella sua parte centrale, le altezze d'acqua che vi si stabiliscono sono cospicue, essendo superiori a 3 m. In tali condizioni, date le quote attuali delle arginature del Cavrato, il modello segnala che si verificano tracimazioni lungo l'argine sinistro, che vanno ad allagare il territorio adiacente. All'istante $t=20$ ore l'esondazione del Cavrato è già iniziata e le acque esondate hanno allagato il territorio adiacente arrestandosi contro l'ostacolo

costituito dalle arginature del canale Lugugnana, in prossimità dell'idrovora Fossadello. Nelle fasi successive le ulteriori portate che escono dal Cavrato sormontandone gli argini si espandono verso Sud fino ad allagare completamente la parte centrale del territorio compreso fra Tagliamento e Cavrato (terre del Quarto Bacino), investendo l'abitato di Bevazzana ed arrestandosi contro l'argine della Litoranea Veneta. Le tracimazioni nella parte terminale del Cavrato a loro volta provocano l'allagamento del territorio adiacente (Bacino di Baseleghe), fino alla foce nel Canale dei Lovi. L'immagine relativa all'istante $t=40$ ore, mostra il possibile scenario nella fase di esaurimento della piena: si nota che nella parte più alta del territorio in esame le aree di espansione golenale del Tagliamento si vanno rapidamente prosciugando per effetto della notevole pendenza del fiume in quel tratto, mentre nella parte bassa del bacino le acque, che hanno ormai invaso tutto il territorio, per effetto della morfologia del terreno tendono a ristagnare con altezze maggiori nelle aree più depresse.

L'effetto dell'alta marea eccezionale alla foce è evidenziato dagli allagamenti che si verificano alla foce di Porto Baseleghe in prossimità dell'imbocco della Litoranea Veneta, dove le acque del Canale dei Lovi superano gli argini ed allagano porzioni di territorio a tergo del litorale.

Dal calcolo risulta, invece, che gli allagamenti non interessano l'abitato di Bibione. Per Bibione, peraltro, le condizioni di grave rischio idraulico permangono, poichè esse sono legate ai già citati problemi di insufficienza del tratto terminale del Tagliamento, per il quale le simulazioni numeriche hanno messo in evidenza che, soprattutto in concomitanza con alte maree eccezionali, il franco idraulico si può ridurre al di sotto di valori di sicurezza, fino ad annullarsi in alcuni punti.

Dall'esame delle mappe delle zone allagate complessivamente, secondo il calcolo, la superficie invasa dalle acque (indicata in Figura 3.27) è di quasi 3000 ha, e la massima altezza della lama d'acqua è dell'ordine di 2 m nelle zone più depresse del Quarto Bacino. La velocità con cui, mediamente, avanza l'onda di sommersione, può essere stimata esaminando le mappe ad istanti successivi. In questo caso data la natura pianeggiante del territorio e data la presenza di numerosi ostacoli che controllano la propagazione del fronte di allagamento (principalmente le arginature dei corsi d'acqua) tale velocità media non supera i 0.2 m/s.

Dal calcolo risulta, inoltre, che le portate che allagano la campagna sormontando gli argini del Cavrato superano, sul colmo del fenomeno, i $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Dall'integrazione nel tempo di tale flusso il volume d'acqua che complessivamente esce dal canale raggiunge i 35 milioni di m^3 .

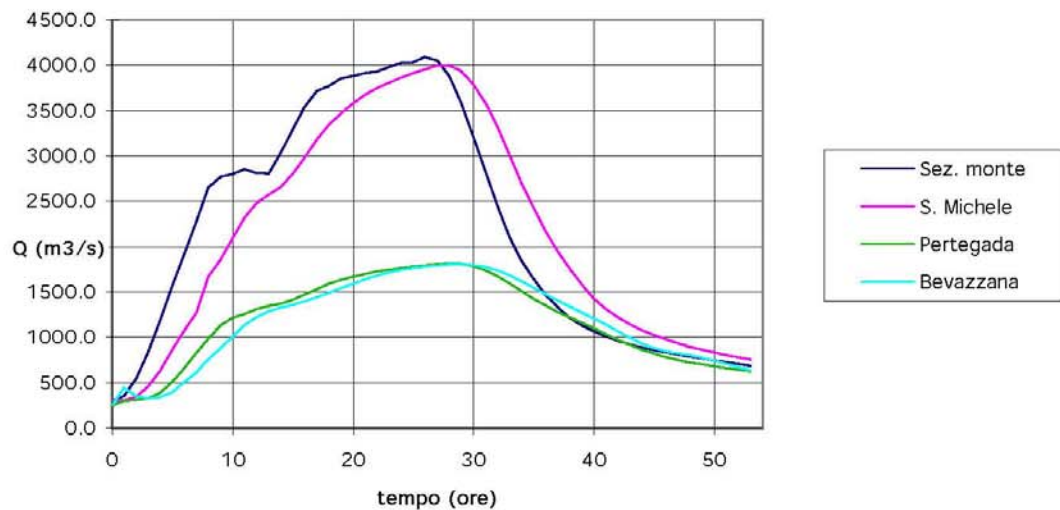
Nel caso si dovesse verificare realmente un allagamento di tali proporzioni è evidente che lo smaltimento delle acque per opera degli impianti idrovori esistenti richiederebbe tempi lunghissimi. Considerando (vedi tabella 3.1) che complessivamente le idrovore presenti in questo territorio possono scaricare al massimo, in condizioni di piena efficienza, circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$, esse sarebbero in grado di smaltire il volume indicato se funzionassero ininterrottamente per oltre 20 giorni.

Le Figure relative ai casi B.2 e B.3 (Fig. 3.28 e 3.29) mostrano che l'entità degli allagamenti segnalati dal modello non differisce sostanzialmente da quelli del caso B.1.

Nel caso B.2, per effetto dei minori livelli di marea, restano escluse dall'allagamento le zone prossime alla linea di spiaggia, ma non cambia in misura apprezzabile nè l'estensione delle superficie allagate nè l'altezza della lama d'acqua che insiste sui territori compresi tra Tagliamento e Cavrato.

Nella simulazione del caso B.3, con la quale si è ipotizzato anche il cedimento di un tratto delle arginature del Cavrato, l'entità dell'allagamento si aggrava, poichè, come è ovvio, le

Caso B.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso B.2 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

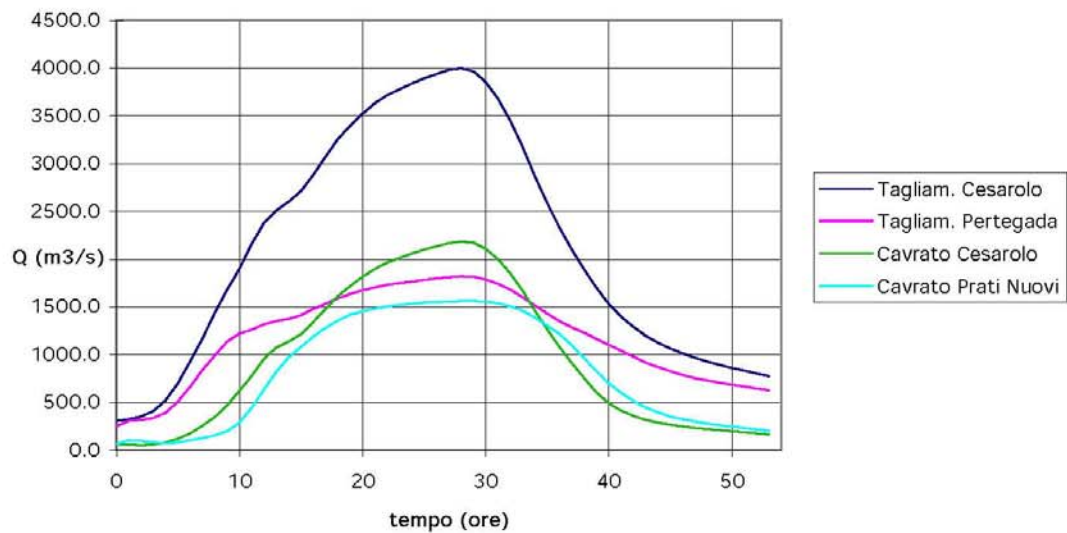
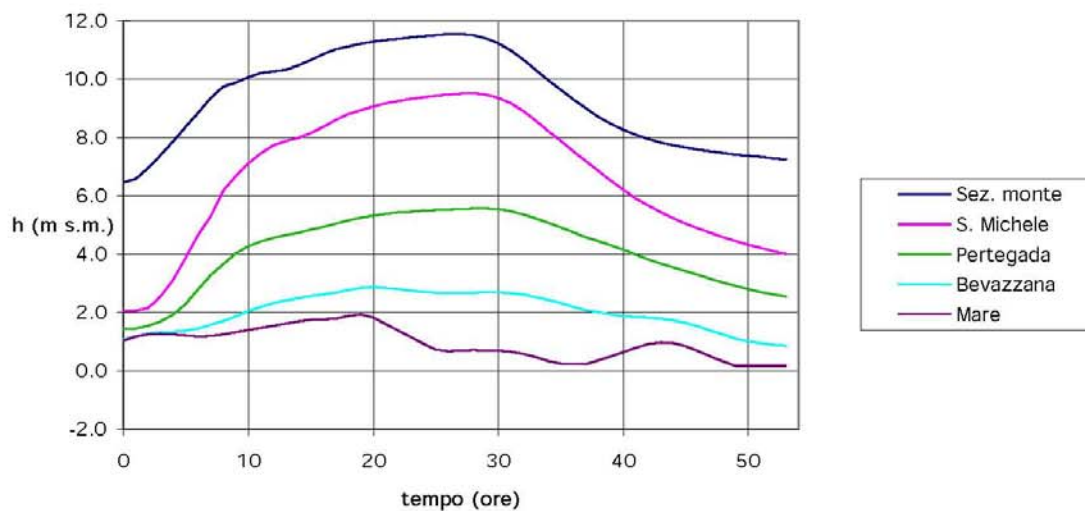


Fig. 3.24 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.2

Caso B.3 - Andamento del livello nel F. Tagliamento



Caso B.3 - Andamento del livello nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

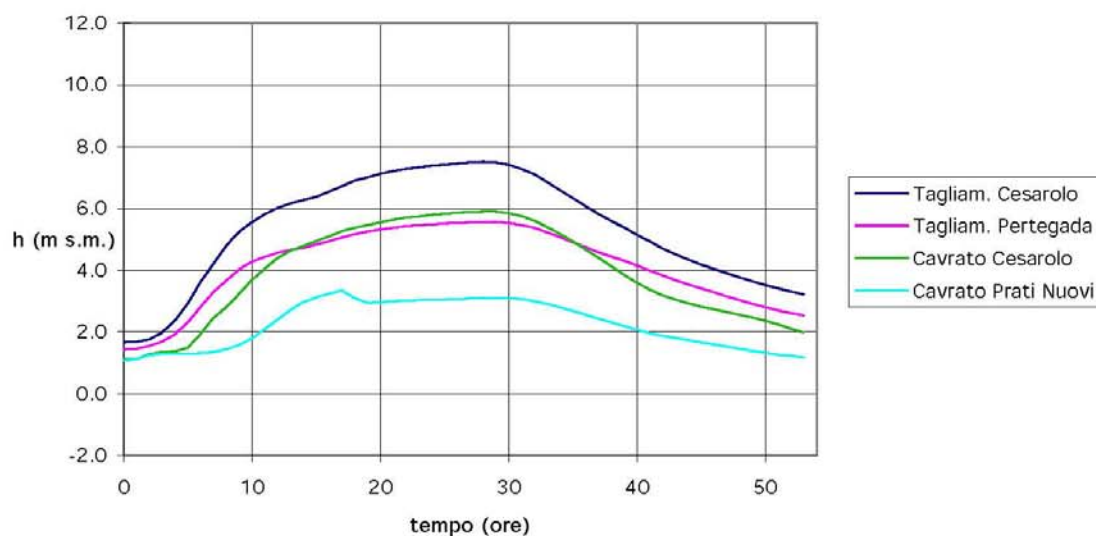
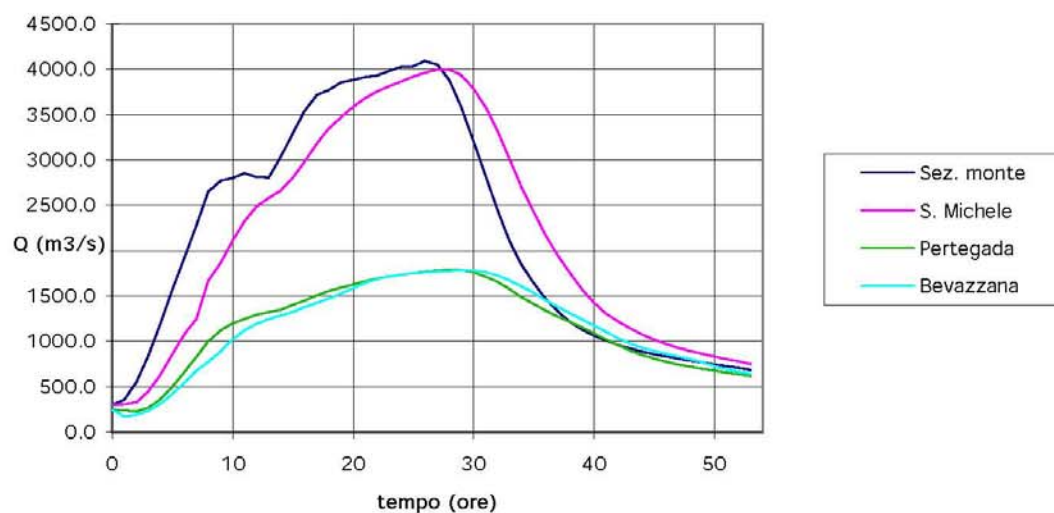


Fig. 3.25 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.3

Caso B.3 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso B.3 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

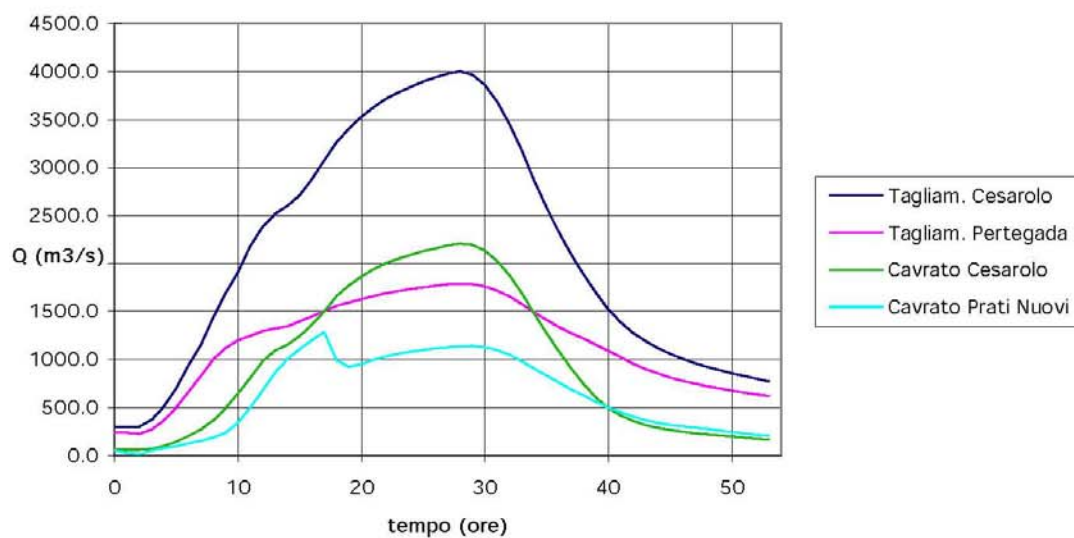


Fig. 3.26 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.3

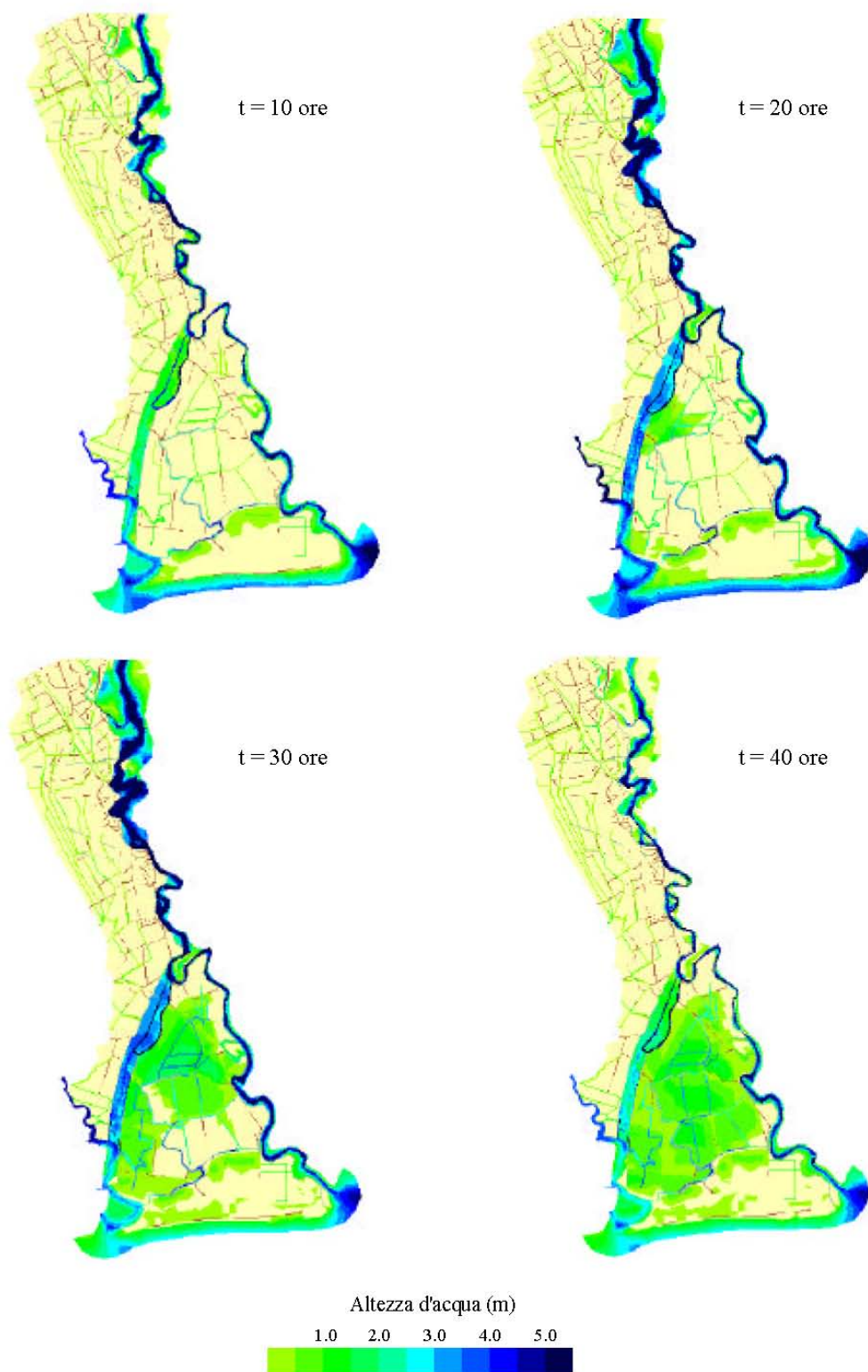


Fig. 3.27- Rappresentazione delle aree allagate nella simulazione relativa al caso B.1

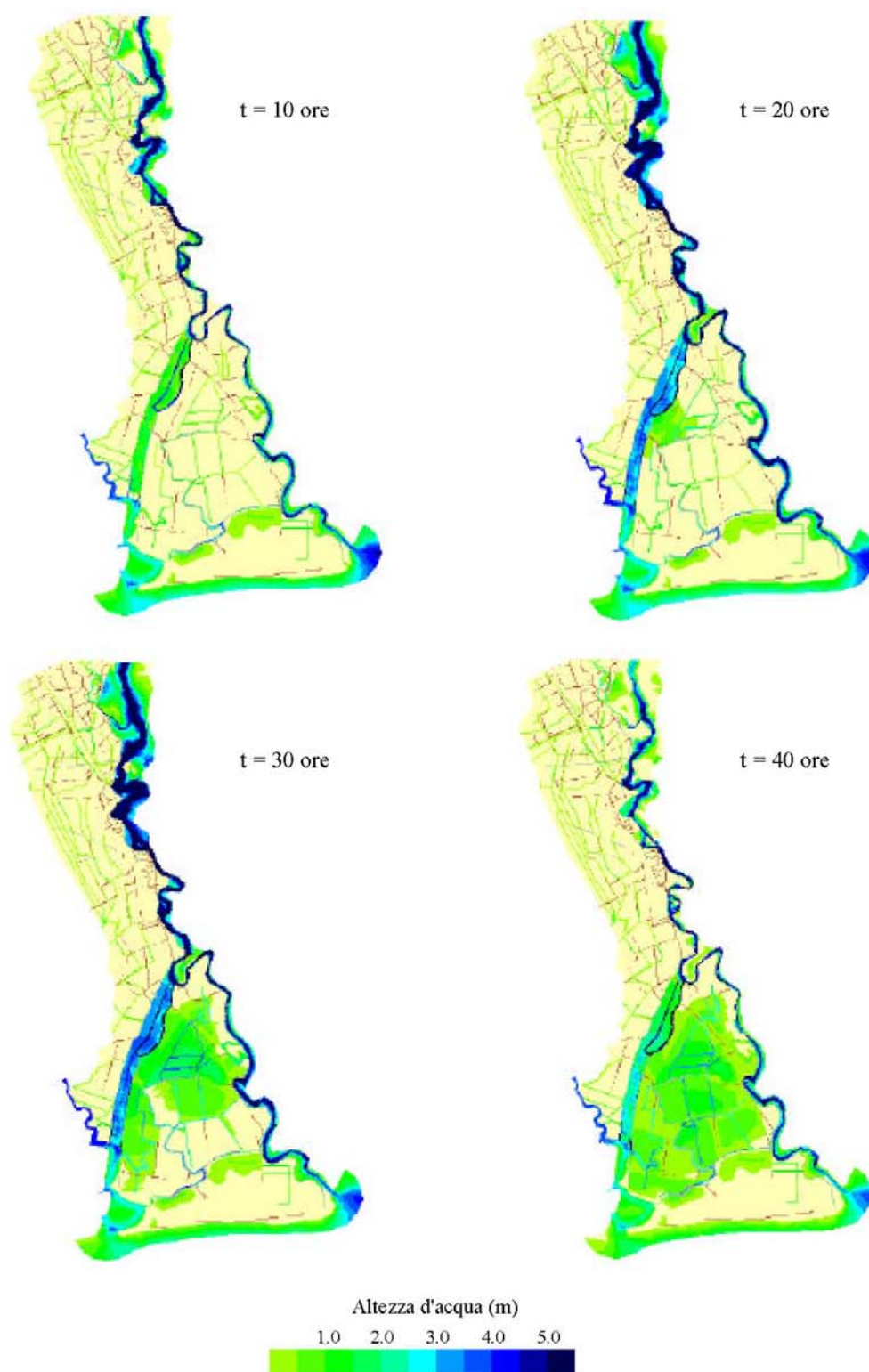


Fig. 3.28- Rappresentazione delle aree allagate nella simulazione relativa al caso B.2

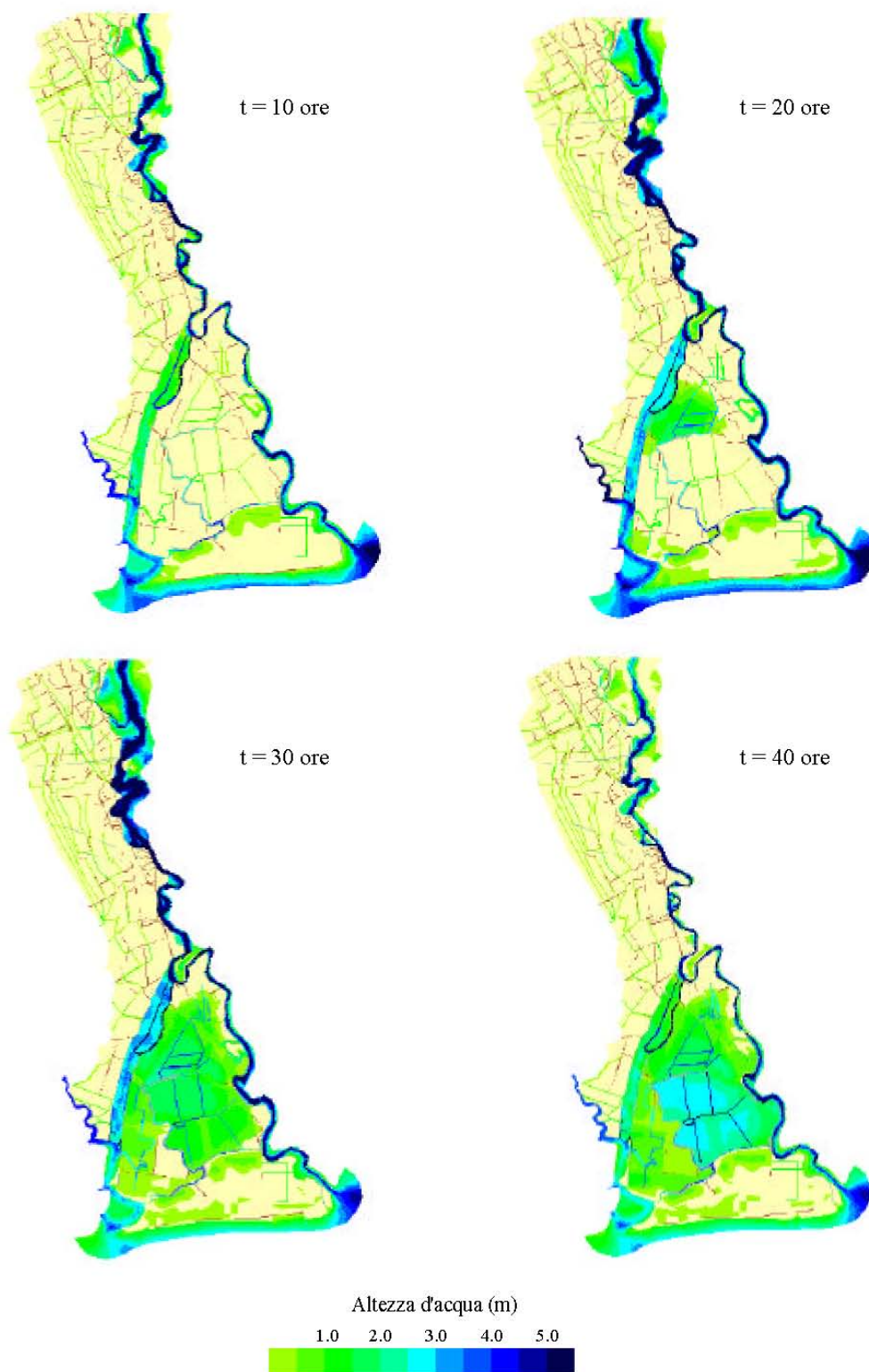


Fig. 3.29 - Rappresentazione delle aree allagate nella simulazione relativa al caso B.3

portate che escono dalla breccia incrementano sensibilmente il volume dell'onda di sommersione. A causa della morfologia del territorio allagato, caratterizzato da pendenze deboli o nulle e dalla presenza delle aree depresse del Quarto Bacino e del Bacino di Baseleghe in cui le acque esondanti tendono a raccogliersi, l'estensione delle superficie allagate non è sensibilmente diversa da quella dei due casi precedenti. Si osserva però un aumento della altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui terreni allagati, che nei punti più depressi raggiunge quasi i 3 m.

Per quest'ultima situazione si nota dalle mappe che, proprio in ragione delle maggiori portate esondanti, sembra aumentata considerevolmente la velocità con cui l'onda di sommersione invade il territorio. Per le maggiori altezze d'acqua con cui il fronte dell'onda si propaga diminuisce verosimilmente il ritardo introdotto dagli ostacoli presenti sul territorio, per cui la velocità media di avanzamento del fronte stesso può essere stimata in $0.3 \div 0.4$ m/s.

L'ultima simulazione effettuata (caso B.4), è stata condotta modificando i coefficienti di scabrezza del corso del Tagliamento rispetto ai casi precedenti, per i quali si sono assunti (vedi par. 3.2) i valori secondo Strickler ritenuti più adeguati sono stati di $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, per l'alveo, e di $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, per le espansioni golenali.

Nello stesso par. 3.2 si è già accennato all'importanza che assume una corretta determinazione dei coefficienti di resistenza che descrivono i fenomeni dissipativi della propagazione. Le numerose simulazioni preliminari condotte per il Tagliamento nell'ambito di questo studio e le esperienze relative ad indagini analoghe, hanno evidenziato come differenti valori attribuiti ai coefficienti di scabrezza, pur nei limiti dei campi di variazione comunemente accettati in letteratura, conducano a volte a risultati sensibilmente diversi per quanto riguarda sia l'entità, sia le modalità di evoluzione dei fenomeni di esondazione.

Per dare un'idea di questi effetti si è scelto di utilizzare il valore $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, per l'alveo e di $15 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, per le espansioni golenali, in modo tale da incrementare apprezzabilmente la resistenza al moto del corso del Tagliamento.

I grafici di Fig. 3.30 riportano i risultati ottenuti con riferimento all'andamento dei livelli idrometrici. Se si confrontano tali grafici con quelli corrispondenti relativi alla simulazione del caso B.1, si osserva alcune differenze. Per quanto riguarda il F. Tagliamento, la variazione dei coefficienti di resistenza si traduce in un significativo innalzamento delle quote idrometriche massime raggiunte, soprattutto per le sezioni situate a monte del Cavrato. A S. Michele l'innalzamento è addirittura superiore al metro, poichè la quota massima raggiunta è di 10.80 m s.l.m. a fronte di 9.60 m raggiunti nel caso B.1.

La maggiore resistenza al moto in questa parte del corso del Tagliamento produce effetti significativi anche sul funzionamento del C. Cavrato. Se si confrontano infatti gli andamenti dei livelli relativi al caso B.1 (Fig. 3.17 in basso) con quelli relativi al caso in esame (Fig. 3.30 in basso) si rileva che per quest'ultima simulazione che alla sezione di Cesarolo, immediatamente a monte dell'incile dello scolmatore, le quote massime sono di quasi 1 m superiori a quelle del caso B.1. Di conseguenza la portata derivata dal Cavrato, che già nel caso B.1 risultava superiore alla capacità dello scolmatore stesso, è ulteriormente incrementata.

Il profilo dei livelli massimi raggiunti lungo il Tagliamento (Fig. 3.31) evidenzia chiaramente, se confrontato con il corrispondente grafico relativo al caso B.1 (Fig. 3.18), che l'innalzamento delle quote idrometriche massime dovuto alla maggiore scabrezza assunta per l'alveo del Tagliamento è significativo. In particolare tra le progressive 7000 e 9000, ovvero tra S. Giorgio al Tagliamento e S. Michele, le altezze d'acqua raggiunte sono tali da annullare in alcuni punti il franco arginale, causando tracimazioni per sormonto delle difese. L'entità del fenomeno non è rilevantissima e, secondo i risultati del calcolo, produce allagamenti di modesta entità. Tuttavia le minori quote delle sommità arginali che si riscontrano in alcuni punti in prossimità della stretta

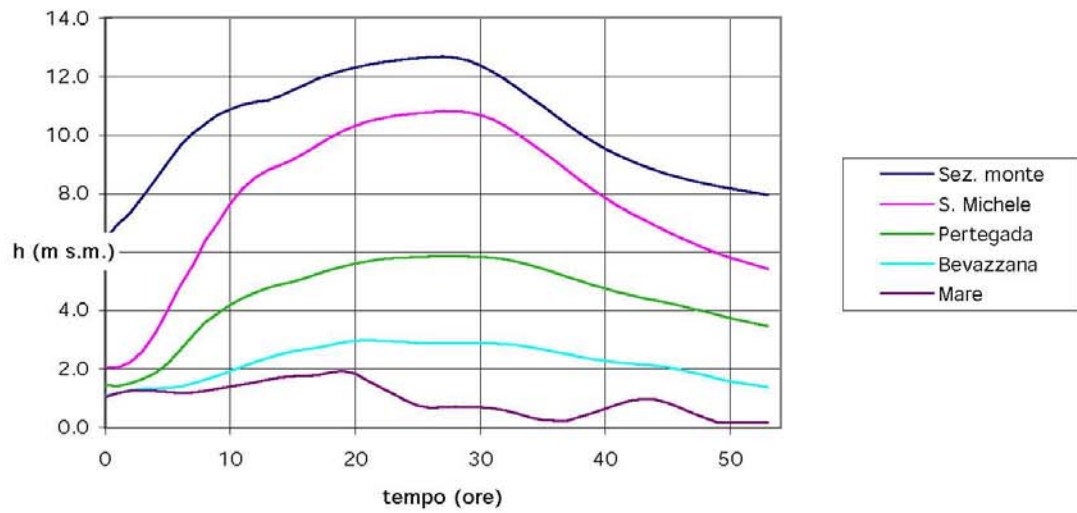
di Latisana rendono critica la situazione in questo tratto durante il passaggio di portate massime di entità pari a quelle considerate.

A valle dell'ansa di Cesarolo (progressiva 15000) si confermano le condizioni critiche in termini di franco di sicurezza dei tratti già precedentemente individuati (sezioni 37, 32, 29, e 28): le altezze idrometriche massime superano le quote delle sommità arginali e si verificano (sempre in destra) altre modeste tracimazioni. Nel tratto terminale, a valle di Pertegada, le portate massime sono, invece, contenute entro le arginature, pur transitando con altezze idrometriche al limite della sommità dell'argine destro.

Il profilo relativo al Cavrato (Fig. 3.32) mostra a sua volta che le quote idrometriche massime sono per il caso in esame sensibilmente superiori a quelle raggiunte nel caso B.1. Data la già rilevata insufficienza del canale scolmatore rispetto al deflusso delle portate massime in arrivo, tutto questo si traduce in maggiori esondazioni rispetto ai casi precedenti. E' significativo osservare che (Fig. 3.34) in alcuni punti l'altezza massima raggiunge la quota della sommità arginale del Cavrato in destra idrografica, provocando esondazioni anche su questo lato del canale, sia pur con volumi esondati di modesta entità.

Con riferimento infine alle portate che transitano nelle sezioni del Tagliamento e del Cavrato, già considerate in precedenza, (Fig. 3.33) si osserva in questo caso principalmente che, per effetto delle maggiori altezze idrometriche che si stabiliscono all'incile del Cavrato a Cesarolo, aumentano considerevolmente le portate che vengono sfiorate verso la bassura del Cavrato stesso. In questo caso le portate massime che defluiscono lungo il Cavrato sono di poco inferiori a $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ (e provocano, come si è detto, esondazioni di entità sensibilmente maggiore rispetto ai casi precedentemente esaminati), mentre le portate massime che defluiscono lungo il Tagliamento a valle di Cesarolo sono di poco superiori a $1300 \text{ m}^3/\text{s}$. A loro volta tali portate, pur essendo inferiori alle portate massime calcolate nello stesso tratto nella simulazione del caso B.1 (quasi $1800 \text{ m}^3/\text{s}$, Fig. 3.20) sono tuttavia in grado, in forza delle maggiori altezze d'acqua che, a parità di portata, ora si stabiliscono, di mettere egualmente in crisi le arginature lungo il tratto terminale del Tagliamento.

Caso B.4 - Andamento del livello nel F. Tagliamento



Caso B.4 - Andamento del livello nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

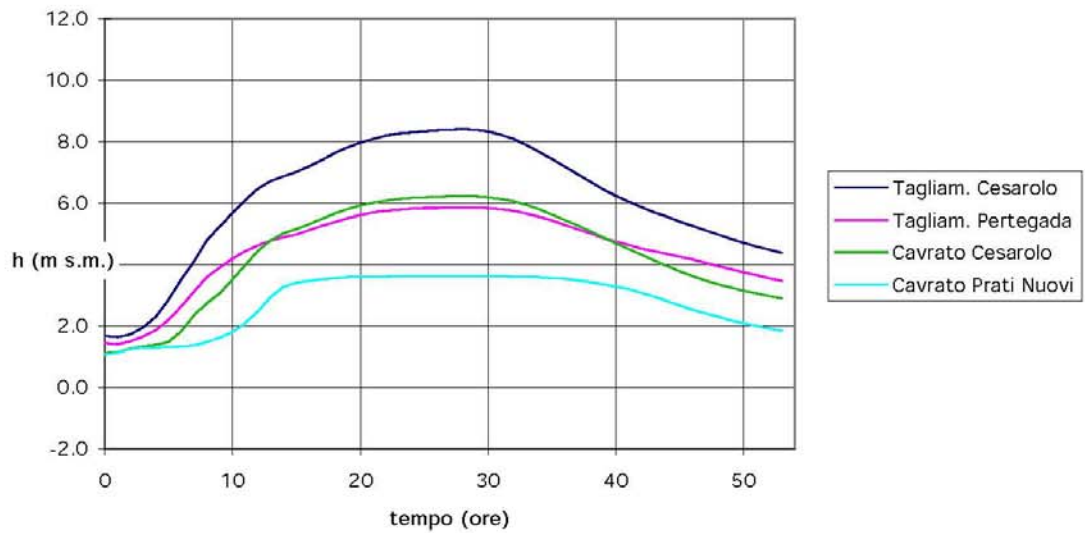


Fig. 3.30 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.4

Caso B.4 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il Tagliamento

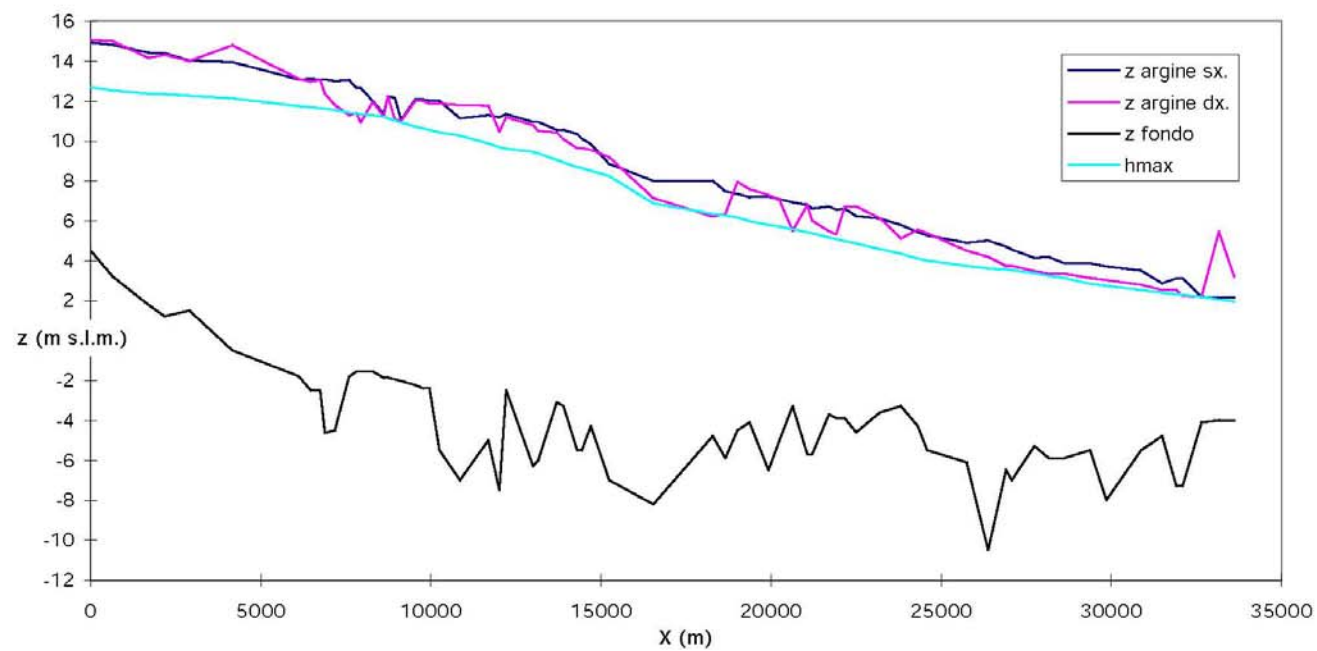


Fig. 3.31 - Profilo inviluppo dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Tagliamento calcolati nella simulazione relativa al caso B.4

Caso B.4 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il Cavrato

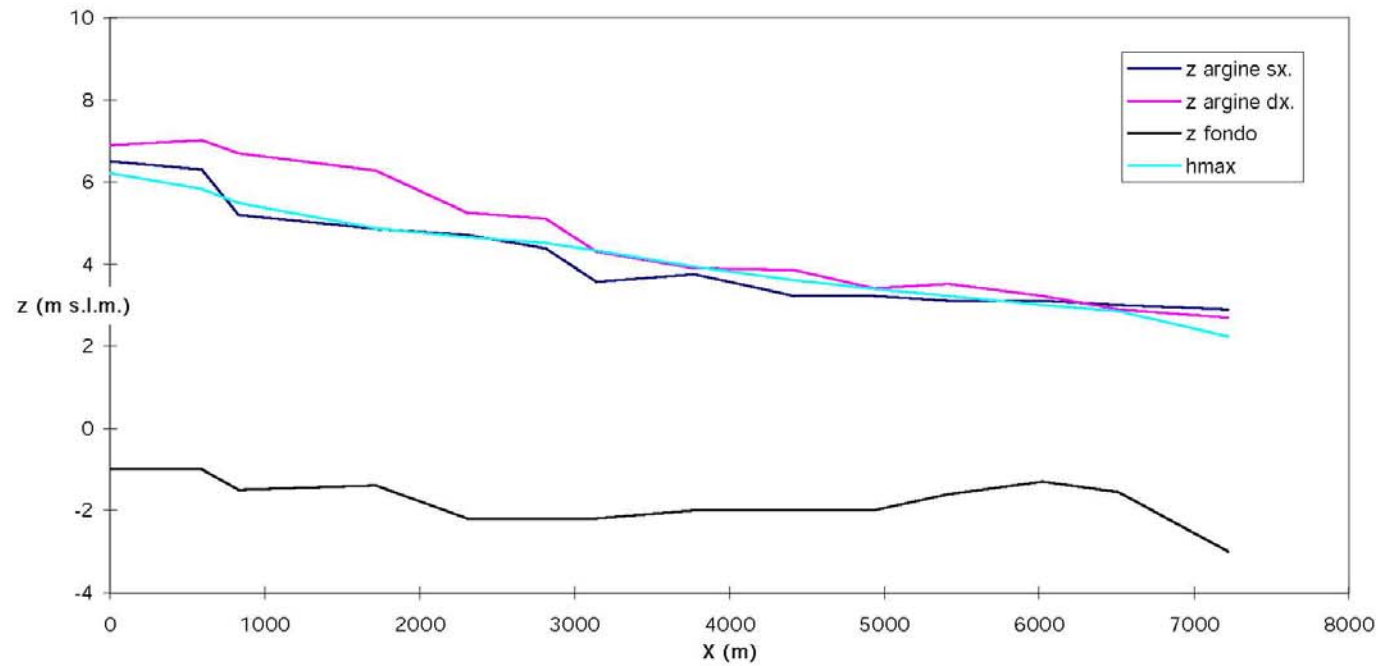
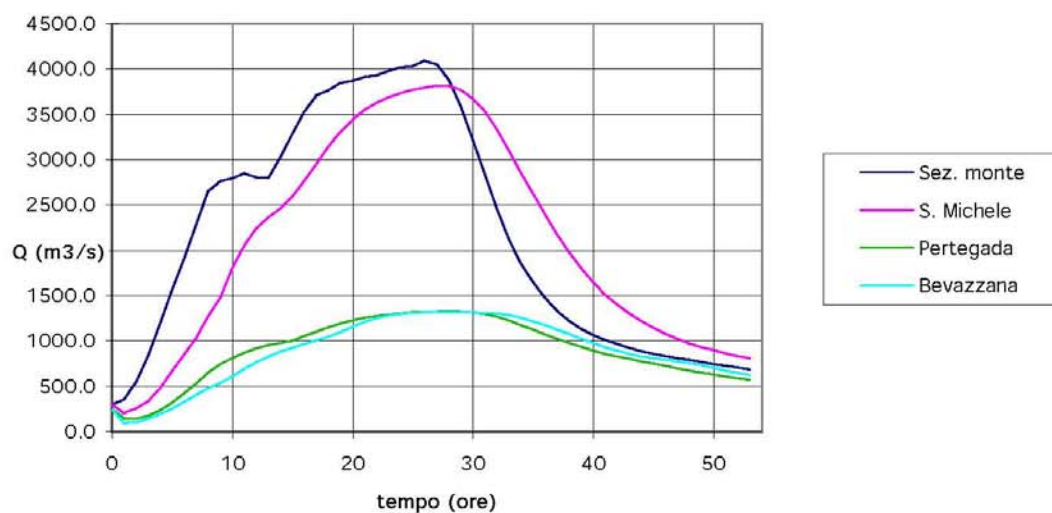


Fig. 3.32 - Profilo involucro dei livelli idrometrici massimi lungo il F. Cavrato calcolati nella simulazione relativa al caso B.4

Caso B.4 - Andamento della portata nel F. Tagliamento



Caso B.4 - Andamento della portata nel F. Tagliamento e nel C. Cavrato

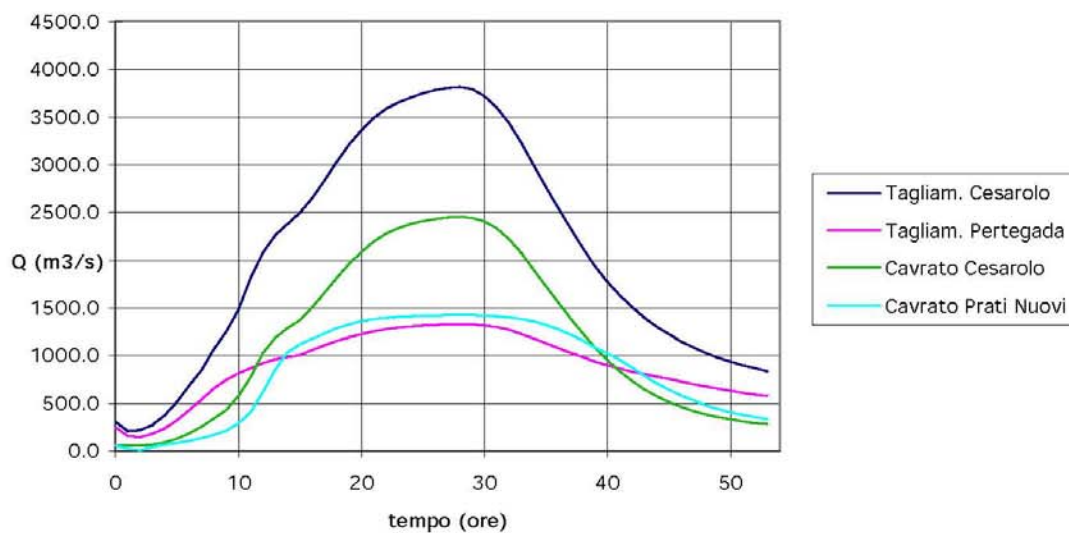


Fig. 3.33 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Tagliamento e del C. Cavrato nella simulazione relativa al caso B.4

3.6 - Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Le simulazioni condotte con il modello matematico uni-bidimensionale sul comportamento idraulico del tratto terminale del Tagliamento hanno consentito di esaminare il funzionamento del fiume in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi per verificare le attuali condizioni di rischio idraulico in cui si trova il territorio adiacente, potenzialmente interessato da eventuali fenomeni di esondazione del Tagliamento stesso e dello scolmatore Cavrato.

Con queste finalità la modellazione ha preso in esame la porzione del territorio provinciale compresa tra il Tagliamento, a Est, il Canale Taglio Nuovo e il Canale dei Lovi, a Ovest, il confine provinciale, a Nord e la linea di costa a Sud, estendendosi su di una superficie complessiva di circa 150 km².

Nella schematizzazione della rete idrografica, oltre ai corsi d'acqua principali (Tagliamento, Cavrato, Canale dei Lovi, Litoranea Veneta, Canale Lugugnana) sono stati inseriti anche i corsi d'acqua secondari e i collettori della rete di bonifica e sono stati considerati i principali manufatti idraulici che controllano il funzionamento della rete minore. E' stato inoltre inserita una fascia di mare aperto che si estende dalla foce del Tagliamento a quella del Canale dei Lovi, per non trascurare eventuali effetti delle alte maree eccezionali sugli allagamenti.

Dati gli scopi dell'indagine, finalizzata principalmente alla caratterizzazione del rischio idraulico connesso con le eventuali esondazioni della rete idrografica naturale, non si sono considerati, diversamente da quanto fatto per il bacino del Gorzone e del Canale dei Cuori, i contributi delle precipitazioni dirette al suolo sul territorio esaminato, poichè le portate che queste possono generare nella rete minore sono di ordinidi grandezza inferiori a quelle che potrebbero invece interessare la rete stessa nel caso di tracimazioni o rotte dei corsi d'acqua principali.

Le prime simulazioni hanno esaminato la propagazione nel Tagliamento di un'onda di piena con tempo di ritorno dell'ordine di 50 anni, avente valore al colmo pari a 3500 m³/s alla sezione situata all'altezza di Mussons, poco a valle del ponte di Madrisio.

In tali ipotesi dal calcolo sono emerse alcune insufficienze sullo stato attuale delle arginature nel corso terminale del Tagliamento a valle di tale sezione. E' risultato infatti che, pur entrando in funzione il diversivo Cavrato le portate residue che interessano il tratto terminale del Tagliamento a valle di Cesarolo transitano con quote idrometriche massime tali da ridurre il franco idraulico a meno di 1 metro rispetto alle sommità arginali in destra.

Le simulazioni hanno però principalmente evidenziato le attuali carenze delle arginature dello scolmatore Cavrato, le quali se nella parte iniziale, prossima all'incile, sembrano poter contenere le portate che in caso di piena, vengono deviate verso il Canale dei Lovi, entrano invece in crisi nella parte centrale e meridionale.

Nelle ipotesi assunte il Cavrato è cioè in grado di derivare una portata al colmo di oltre 1700 m³/s, alleggerendo in modo sostanziale il corso terminale del Tagliamento, ma tale portata supera la capacità attuale dello scolmatore nel suo tratto di valle.

Il modello segnala pertanto che si verificano tracimazioni degli argini in sinistra e allagamenti diffusi nel territorio compreso tra Cesarolo e il C. Lugugnana (bacino delle idrovore Cesarolo e Fossadello), nel territorio compreso tra il C. Lugugnana e la Litoranea Veneta (bacino dell'idrovora Bevazzana) e nel territorio adiacente al basso Cavrato (bacino dell'idrovora Baseleghe).

Per esaminare l'effetto della marea alla foce, le simulazioni della propagazione della piena cinquantenaria sono state effettuate considerando sia il caso di un'alta marea eccezionale,

paragonabile a quella verificatasi nell'evento del 1966, sia quello di una marea di sizigia ordinaria.

Dai risultati è emerso che eventuali stati di alta marea eccezionale producono effetti sensibili solo nel tratto terminale del Tagliamento, a valle di Pertegada, e in quello terminale del Cavrato, prossimo al Canale dei Lovi. In tali tratti per effetto delle maggiori quote idrometriche il modello segnala importanti tracimazioni degli argini e conseguenti allagamenti delle campagne adiacenti. L'effetto dell'alta marea eccezionale è di una certa gravità per i territori prossimi alla linea di costa (Porto Baseleghe, Bibione) i quali possono essere interessati da allagamenti.

Un secondo gruppo di simulazioni ha esaminato l'effetto di una piena paragonabile a quella del 1966, ovvero caratterizzata da tempo di ritorno dell'ordine di 100 anni.

I calcoli hanno dimostrato che, allo stato attuale, un evento di piena di tali proporzioni non sarebbe sostenibile dal sistema Tagliamento - Cavrato. Infatti, mentre nel tratto di monte del Tagliamento in prossimità di Latisana e S. Michele, in forza degli interventi di ricalibratura e rinforzo degli argini eseguiti dopo le disastrose rotte del '66, la piena (oltre 4000 m³/s) sembra essere contenuta dagli argini con un franco accettabile, a valle di Cesarolo l'argine destro del Tagliamento entra in crisi, poichè in alcuni punti il franco idraulico si riduce fino quasi ad annullarsi.

In questo caso, a fronte di portate massime in ingresso al nodo del Cavrato dell'ordine di 4000 m³/s, quelle derivate dallo scolmatore raggiungono i 2200 m³/s, per cui nel Tagliamento a valle di Cesarolo fluiscono oltre 1800 m³/s, e tale valore sembra dunque superiore alla attuale capacità di portata del corso terminale del Tagliamento. Di fatto per tale tratto quella simulata sembra una situazione ancor più gravosa di quella realmente verificatasi nel '66, poichè a causa delle rotte e tracimazioni verificatesi a monte di Latisana, è presumibile che allora le portate massime convogliate a valle dell'abitato siano state inferiori a quelle simulate dal calcolo che considera gli effetti dagli interventi nel frattempo realizzati.

Con l'ausilio di profili idrometrici longitudinali dei livelli massimi raggiunti e di mappe a colori delle zone allagate il modello matematico ha consentito poi di descrivere realisticamente i gravi effetti della propagazione della piena considerata (2200 m³/s al colmo) lungo il Cavrato.

Per tale evento i tiranti massimi che si stabiliscono nel canale scolmatore sono tali da superare abbondantemente le quote delle sommità arginali in sinistra, dando luogo a cospicue tracimazioni. Ciò avviene principalmente nella parte intermedia dello scolmatore, mentre nella parte terminale, prossima allo sbocco nel Canale dei Lovi, le acque sembrano poter essere contenute ai limiti del sormonto arginale, a patto che, simultaneamente all'evento di piena, non si verifichino stati di alta marea eccezionale alla foce.

Nelle fasi del passaggio del colmo della piena le portate che escono dal Cavrato sormontandone gli argini in sinistra si espandono verso Sud, fino ad allagare completamente la parte centrale del territorio compreso fra Tagliamento e Cavrato (terre del Quarto Bacino), investendo l'abitato di Bevazzana ed arrestandosi contro l'argine della Litoranea Veneta.

Le tracimazioni nella parte terminale del Cavrato, particolarmente consistenti nel caso di alte maree, a loro volta provocano l'allagamento del territorio del Bacino di Baseleghe fino alla foce nel Canale dei Lovi.

Data la natura pianeggiante del terreno interessato dagli allagamenti la velocità di avanzamento dell'onda di sommersione non è molto elevata, mentre risulta cospicua (anche superiore a 2 m) la lama d'acqua che si stabilisce nelle zone più depresse dove le acque tendono a ristagnare.

Una ulteriore simulazione ha esaminato anche le conseguenze di un'eventuale rotta di un tratto arginale in sinistra Cavrato, dove il modello segnalava le massime portate uscenti per

tracimazione, nel momento del passaggio del colmo della piena. In tali malaugurate ma purtroppo realistiche ipotesi l'entità dell'allagamento ovviamente si aggrava poichè le portate che escono dalla breccia incrementano sensibilmente il volume dell'onda di sommersione.

A causa della morfologia del territorio allagato, caratterizzato da pendenze deboli o nulle e dalla presenza di ampie zone a quote depresse in cui le acque esondanti tendono a raccogliersi, l'estensione delle superficie allagate non aumenta però sensibilmente rispetto a quella del caso in cui gli argini resistono al sormonto.

Si osserva comunque un aumento della altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui terreni allagati, che nei punti più depressi raggiunge quasi i 3 m, e un aumento della velocità di propagazione del fronte dell'onda di sommersione, che risulta quasi doppia rispetto a quella del caso precedente.

Pur consentendo il modello di esaminare oltre a quella considerata altre ipotesi di cedimento arginale, come ad esempio lungo il corso del Tagliamento ed in particolare in prossimità di S. Michele o delle anse di Cesarolo, non si è in questa fase ritenuto significativo illustrare le conseguenze di tale tipo di fallanza.

Essendo allo stato attuale la modellazione limitata verso occidente dal C. Taglio e dal C. dei Lovi, non sarebbero state, infatti, realisticamente riprodotte le conseguenze di tali fenomeni, in quanto nella parte più alta del dominio di calcolo non sarebbe stata correttamente riprodotta l'influenza della presenza dei due corsi d'acqua citati. Su questo aspetto, che non è di secondaria importanza, ci si prefigge peraltro di ritornare prossimamente non appena sarà estesa verso occidente la parte di territorio modellata. Quando questo avverrà sarà cura degli scriventi rimettere alcune osservazioni su questo punto, basate su simulazioni che terranno conto anche di tale estensione del territorio modellato.

Una simulazione conclusiva ha esaminato, infine, gli effetti sulla propagazione della piena e sugli eventuali fenomeni di esondazione di una variazione dei coefficienti di scabrezza con i quali si descrivono nel modello i fenomeni dissipativi lungo il corso del Tagliamento. Il calcolo ha avuto principalmente l'obiettivo di evidenziare l'importanza che in questo tipo di valutazione assume la stima dei coefficienti di resistenza.

Poichè, in generale, tali coefficienti sono quasi sempre stimati in prima approssimazione sulla base dei dati reperibili nella letteratura tecnica, nei casi particolarmente delicati in cui si vogliano condurre valutazioni in condizioni limite per la sicurezza idraulica sarebbe quantomai opportuno sottoporre ad un controllo sperimentale i valori prescelti mediante misure contemporanee di livello e di portata e verifiche numeriche dei relativi profili idrometrici.

4. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL BACINO DEL LEMENE

4.1 - Caratteri idraulici del territorio

La modellazione comprende il territorio facente parte della Provincia di Venezia situato tra il fiume Livenza, a occidente, e il sistema del C. Taglio - C. dei Lovi, a oriente (Fig. 4.1). Si tratta di un grande bacino della superficie di oltre 450 km², il cui drenaggio avviene principalmente a scolo meccanico. Il territorio è solcato da una complessa rete idrografica in cui si distinguono i due sistemi principali del F. Lemene e del F. Loncon, entrambi confluenti nella laguna di Caorle a mezzo del C. Nicesolo.

Il F. Lemene, che ha origine da polle di risorgiva presso Casarsa, riceve in destra gli affluenti F. Reghena e Roggia Versiola, prima di suddividersi, a valle di Concordia Sagittaria, in due rami: il ramo di sinistra, detto C. Cavanella Lungo, va direttamente a confluire nel C. Nicesolo, il quale è in pratica un canale lagunare; il ramo di destra segue per un tratto il vecchio alveo del Lemene e, dopo aver ricevuto il Loncon, si immette a sua volta nel Nicesolo.

Il F. Loncon, che nasce in prossimità di Spilimbergo da una presa sul T. Cosa, viene alimentato da monte principalmente dalle portate che provengono dal F. Sile e dal F. Fiume, che a loro volta confluiscono nel canale Postumia - Malgher - Fosson.

Il regime idrologico dei due corsi d'acqua risulta sostanzialmente alimentato da portate di risorgiva nella parte di monte e dagli scarichi della bonifica a scolo meccanico in quella di valle.

Nella parte orientale del territorio il corso d'acqua principale è la Roggia Lugugnana, che va a confluire nel C. Taglio. Quest'ultimo costituisce un sistema distinto rispetto al Lemene - Loncon perché esso principalmente drena i contributi delle risorgive poste in destra Tagliamento e va a sfociare nel Canale dei Lovi.

Il territorio in esame è sostanzialmente pianeggiante. Le quote del terreno raggiungono al massimo 8 - 10 m s.l.m. nella parte settentrionale e sono mediamente dell'ordine del livello medio del mare nella parte meridionale, con ampie zone poste a quote anche inferiori nelle campagne della bonifica.

La attuale configurazione della rete idrografica deriva sostanzialmente dagli interventi di ingegneria idraulica realizzati negli anni 30 da una parte ai fini della sistemazione della parte terminale del corso del Livenza, sistematicamente soggetto ad esondazioni, dall'altra per realizzare il sistema di canalizzazioni necessario per la bonifica delle campagne.

Dal punto di vista dei dati idrologici, se da un lato esistono alcune stazioni termopluviometriche in numero sufficiente e con registrazioni di dati sufficientemente continue per consentire un'analisi delle caratteristiche termiche e pluviografiche del bacino, dall'altro mancano quasi completamente dati di carattere idrometrico che consentano di descrivere, anche in prima approssimazione, il regime dei corsi d'acqua. Per tali scopi è necessario pertanto fare riferimento alle stime, quasi sempre indicative, riportate negli studi e nei progetti condotti nel passato.

F. Malgher - Fosson

Il corso del sistema idraulico Malgher - Fosson all'interno del territorio provinciale è interamente arginato e si sviluppa per una lunghezza complessiva di quasi 13 km fino alla foce nel Loncon.

Dal punto di vista delle opere idrauliche, l'elemento più significativo è il salto di Corbolone, situato poco a monte di S. Stino di Livenza. Si tratta di un manufatto sul C. Malgher costituito da una soglia che introduce una discontinuità nella pendenza del canale realizzando un dislivello di

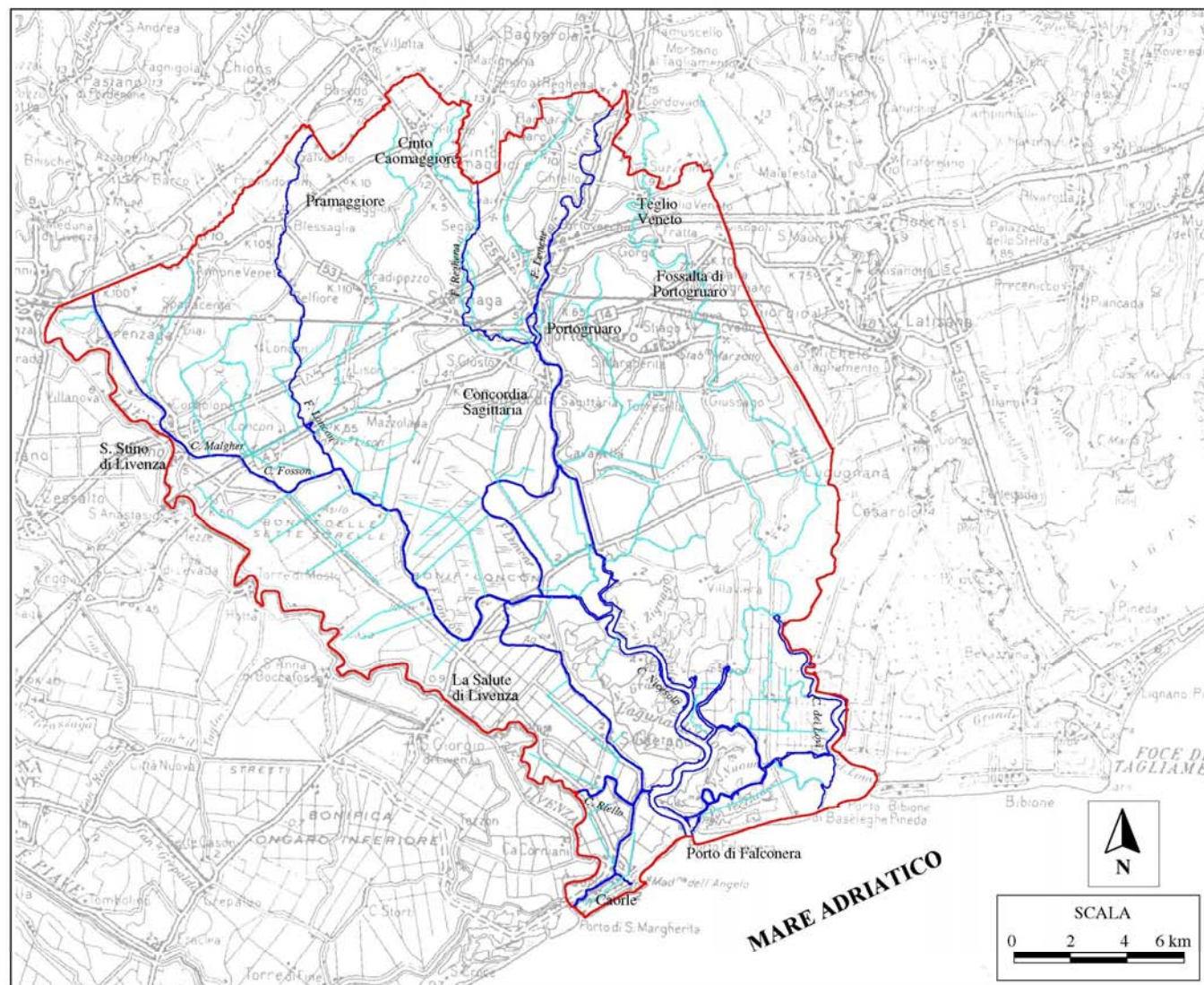


Fig. 4.1 - Corografia del bacino del Lemene considerato nell'indagine

quasi 4 m tra il fondo del canale a monte e a valle. Questo dislivello impedisce da una parte che i fenomeni di alta marea si propaghino a monte interessando il regime idraulico del Sile e del Fiume, dall'altra che si verifichino risalite del cuneo salino.

A valle del salto, il Malgher scorre nel vecchio alveo del rio Fosson, prendendo il nome di C. Fosson. In questo tratto, a valle di S. Stino di Livenza, il canale raccoglie il contributo di due impianti idrovori, prima di confluire nel C. Loncon.

Il regime idraulico del Malgher - Fosson è condizionato sia dal regime idrologico delle portate in arrivo da monte (provenienti dal F. Sile e dal F. Fiume), sia dai livelli di marea che si stabiliscono in laguna.

Dal punto di vista della sicurezza idraulica, a monte del salto di Corbolone si possono verificare situazioni critiche soprattutto in occasione di rilevanti eventi di piena, ma nei territori situati nella provincia di Pordenone. Per effetto del rigurgito provocato dalla strozzatura di Corbolone, infatti, i livelli che si stabiliscono a monte del salto mettono in crisi non tanto gli argini del Malgher, entro i quali le portate transitano generalmente con sufficiente franco di sicurezza, quanto i tratti terminali del Sile e del Fiume nel territorio del Consorzio di Bonifica Cellina Meduna, dove si possono verificare significative esondazioni.

Le condizioni idrauliche maggiormente critiche per il sistema considerato si verificano comunque a valle di Corbolone, e soprattutto in corrispondenza della confluenza tra il Fosson e il Loncon. In tale tratta, nel caso di uno stato di piena eccezionale nella rete di bonifica contemporaneo ad un'alta marea eccezionale alla foce, si possono verificare tracimazioni degli argini con rischio di collasso degli stessi. Come è descritto nel seguito l'eventualità di un tale fenomeno è specificamente indagata nella presente indagine.

F. Loncon

Il corso del Loncon, all'interno del territorio della Provincia di Venezia, è arginato solo parzialmente. In particolare vi sono argini su entrambe le sponde fino a Belfiore, ma solo in destra da Belfiore alla confluenza con il C. Lison Nuovo. A valle di detta confluenza e fino alla unione con il C. Fosson esso è nuovamente arginato su entrambe le sponde.

Dal punto di vista della sicurezza idraulica nel Piano di Bacino del Lemene [12] si rileva che la tratta critica del corso del Loncon è individuabile nel tratto tra Belfiore e la ferrovia VE - TS, dove le difese spondali possono risultare insufficienti in occasione di piene significative.

F. Lemene

Il F. Lemene dal suo ingresso nel territorio della Provincia di Venezia presso Bagnara e fino a Portovecchio ha un corso tortuoso e quasi totalmente privo di arginature.

Da Portovecchio a Potogruaro il corso del fiume diviene quasi rettilineo ed è delimitato da arginature. All'altezza di Potogruaro il Lemene riceve in destra la Roggia Versiola. Poco dopo il Lemene si divide in due rami, che si riuniscono subito a valle dell'abitato di Portogruaro, dopo la confluenza, in destra, con il F. Reghena.

A valle di Portogruaro il corso del Lemene è regolare e delimitato da rilevanti arginature. All'altezza dell'abitato di Cavanella dal Lemene si diparte il C. Cavanella Lungo che, seguendo un corso rettilineo ed arginato, va a scaricare parte delle portate del Lemene nel C. Nicesolo a valle di Sindacale. A valle di Cavanella il tracciato del fiume descrive una doppia ampia ansa, per poi congiungersi con il Loncon in località Maranghetto.

Alla confluenza con il Loncon il Lemene di fatto si separa in due rami. Il primo ramo segue un tratto di canale artificiale (C. Maranghetto) che confluisce nel C. Nicesolo; il secondo risale per un tratto verso Ovest lo stesso C. Maranghetto per poi riprendere verso Sud il corso

dell'antico alveo del Lemene, che sfocia anch'esso nel C. Nicesolo in prossimità della costa presso il Porto di Falconera.

F. Reghena

Il F. Reghena costituisce l'affluente principale del F. Lemene. Esso nasce all'altezza di Casarsa con il nome di roggia Mussa. Il suo percorso si sviluppa verso Sud fino a S.Vito al Tagliamento, a valle del quale raccoglie i contributi delle locali risorgive. Giunto a Sesto al Reghena il fiume prende il suo nome definitivo e riceve il contributo delle acque provenienti da uno scolmatore del vicino fiume Cao Maggiore (Fossa Marignana).

A valle di Sesto, il Reghena prosegue rettilineo e canalizzato entrando in Provincia di Venezia, fino alla località Segà, dove riceve il contributo residuo del F. Cao Maggiore. Più a valle il percorso del Reghena assume un andamento tortuoso, con alveo arginato, fino alla confluenza definitiva con il F. Lemene, subito a valle di Portogruaro.

Roggia Versiola

Fra i corsi d'acqua del bacino va segnalata anche la Roggia Versiola, che costituisce un affluente di una certa importanza del F. Lemene. Essa nasce da risorgive presso Bagnarola, all'esterno del territorio provinciale. Dopo un tratto iniziale in direzione Sud questo corso d'acqua entrando nel territorio della Provincia di Venezia si dirige verso Sud Ovest attraversando gli abitati di Gruaro e Gai, per andare poi a confluire nel Lemene subito a monte di Portogruaro.

La rete di bonifica

Il bacino considerato è suddiviso in comprensori di bonifica per i quali i canali Malgher-Fosson-Loncon, il fiume Lemene e il C. Taglio Nuovo – C. dei Lovi fungono da collettori. Di tali comprensori quelli più settentrionali (approssimativamente a monte della linea dell'autostrada) sono a scolo naturale, quelli meridionali sono a scolo meccanico.

Nel sistema a scolo naturale i corsi d'acqua principali sono la Fossa Fosson, il C. Melonetto – Rio Fosson e il Lison, che confluiscono nel sistema Malgher – Loncon, e la Roggia Lugugnana, che invece è tributaria del sistema C. Taglio Nuovo – C. dei Lovi.

La Fossa Fosson, che confluisce nel Malgher subito a valle del salto di Corbolone, è una roggia di una certa importanza poiché essa raccoglie il drenaggio di un bacino di oltre 1800 ha nei territori di Annone Veneto.

Il sistema C. Melonetto – Rio Fosson (quest'ultimo costituisce il vecchio corso del Fosson) raccoglie il contributo di una parte del bacino di S. Osvaldo, confluendo poi anch'esso nel Malgher a valle di S. Stino di Livenza.

Il fiume Lison è un corso d'acqua di modesta importanza che nasce a Nord Ovest di Cinto Caomaggiore e sviluppa il suo corso verso Sud tra il bacino del Loncon e quello del Reghena – Cao Maggiore. A valle di Pradipozzo, all'altezza dell'autostrada, dal fiume Lison si diparte verso Sud Ovest il C. Lison Nuovo che collega il corso d'acqua con il suo ricettore Loncon.

La Roggia Lugugnana è, infine, un corso d'acqua di una certa importanza che nasce a nord di Teglio Veneto, al di fuori del territorio provinciale, e confluisce nel sistema Taglio Nuovo – C. dei Lovi. La parte settentrionale del suo corso, caratterizzata da ampie anse, attraversa gli abitati di Teglio Veneto, Fratta e Fossalta di Portogruaro. Nel suo corso meridionale essa riceve i contributi degli scoli delle campagne in sinistra (Fondi Alti) e, dopo un tratto terminale arginato, va a confluire nel C. Taglio Nuovo all'altezza dell'abitato di Villa.

Il sistema a scolo meccanico fa capo a ben 38 impianti idrovori, di cui 32 sono gestiti dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, e i rimanenti sono privati. Le caratteristiche principali degli impianti sono indicate nella seguente tabella 4.1.

Le bonifiche private, situate nel territorio delimitato a Nord dal bacino Sette Sorelle, a Est dal corso del Loncon, a Ovest dal corso del Livenza e a Sud dai bacini Casere e S. Gaetano, coprono complessivamente una superficie di oltre 3000 ha e scaricano le portate sollevate dai loro impianti idrovori nel C. Loncon.

Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Per realizzare il modello matematico uni-bidimensionale del territorio considerato si è fatto riferimento alla metodologia illustrata nel precedente capitolo. Il territorio è stato descritto con un reticolo di elementi triangolari, al quale è stata sovrapposta la rete dei canali unidimensionali.

Per ottenere una descrizione dettagliata ed accurata della altimetria del territorio si è potuto, in questo caso, fare riferimento ai dati dell'archivio informatizzato del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. In tale sistema informativo il territorio considerato è suddiviso in oltre 7000 "celle" caratterizzate, fra l'altro, da una quota altimetrica che rappresenta l'altitudine media della cella. Il reticolo di calcolo del modello è stato costruito proprio su questa base, facendo coincidere, nei limiti del possibile, i lati degli elementi triangolari con i lati di tali celle. La assegnazione, a ciascun elemento, della quota altimetrica, è stata fatta quindi con una procedura automatica.

Ai dati del sistema informativo del Consorzio è stata associata la base cartografica della Carta Tecnica Regionale 1:10.000 in formato raster, utilizzata in particolare per digitalizzare il tracciato degli elementi unidimensionali rilevanti ai fini dei calcoli, e cioè i corsi d'acqua, i rilevati stradali e gli eventuali altri elementi che, potenzialmente, possono influire sulle modalità con cui avviene lo spagliamento delle acque sul territorio in caso di alluvione.

Dalla stessa base CTR in scala 1:10.000 sono stati digitalizzati, inoltre, i limiti dei centri abitati principali, in modo da evidenziare gli effetti dei fenomeni di allagamento con riferimento agli insediamenti.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle sezioni dei corsi d'acqua principali, si è resa necessaria una estesa ricerca presso gli enti competenti per raccogliere e organizzare gli elementi informativi disponibili. In particolare sono stati visitati, oltre al citato Consorzio di Bonifica, gli uffici del Genio Civile regionale, anche nella sua sede periferica di Portogruaro, e del Magistrato alle Acque di Venezia. La raccolta dei dati ha presentato non poche difficoltà poichè si è riscontrato che i dati attualmente disponibili sulle sezioni sono molto scarsi, provenienti da rilievi spesso datati, e in molti casi non congruenti tra di loro.

Nella tabella seguente si riporta una descrizione dei dati utilizzati, con la denominazione utilizzata nel modello.

Tabella 4.2 - Descrizione dati sulla geometria delle sezioni del bacino del Lemene utilizzati nella schematizzazione della rete idrografica principale.

- **Roggia Versiola a Portogruaro - Sezioni I - VII**

Fonte: Magistr. Acque, G. C. Venezia, Progetto sist. Lemene da Portogruaro a Portovecchio (ing. De Rosso).

Anno: 1969

Rif. Altimetrico: Capisaldi Magistrato a Portogruaro. (Casa Doardo, in dx. Versiola, +13.660, Casa Moretto, presso ponte S.S. 14, +12.613, etc.).

- **Lemene da Portovecchio a Portogruaro - Sezioni A - H**

Fonte: Magistr. Acque, G. C. Venezia, Progetto sist. Lemene da Portogruaro a Portovecchio (ing. De Rosso).

Anno: 1969

Rif. Altimetrico: Capisaldi Magistrato a Portogruaro. (Casa Doardo, in dx. Versiola, +13.660, Casa Moretto, presso ponte S.S. 14, +12.613, etc.).

- **Lemene da Portogruaro al C. Maranghetto - Profilo longitudinale del fondo e dell'argine destro**

Fonte: Magistr. Acque, G. C. Venezia, Progetto sist. dei fiumi Reghena, Lemene e Loncon (ing. Maraffi).

Anno: non riportato, presum. anni '60.

Rif. Altimetrico: non riportato, presum. capisaldi del Magistrato.

- **F. Lemene a Bagnara - Sezioni GC3**

Fonte: Regione Veneto, Genio Civile, uff. Portogruaro. Campagna di rilievi per manutenzione e ripristino capisaldi.
Anno: 1998.
Rif. Altimetrico: non indicato.

- **F. Loncon da C. Corner a Fossa Possidenza - Sezioni GC4 - GC9**

Fonte: Regione Veneto, Genio Civile, uff. Portogruaro. Campagna di rilievi per manutenzione e ripristino capisaldi.
Anno: 1998.
Rif. Altimetrico: Riferimento locale, collegabile ad un caposaldo della CTR con una traslazione di circa 2.6 m (caposaldo G.C. n. 914).

- **C. Cavanella e Sindacale, dall'incile al C. Nicesolo - Sezioni 1 - 8**

Fonte: Magistr. Acque, G. C. Venezia. Campagna di rilievi.
Anno: non riportato, presum. anni '60.
Rif. Altimetrico: non riportato, presum. capisaldi del Magistrato.

- **C. Malgher - Sezioni MA9 - MA19**

Fonte: Magistr. Acque, N. O. Venezia. Campagna di rilievi.
Anno: non riportato, presum. anni '70.
Rif. Altimetrico: non riportato, presum. capisaldi del Magistrato.

- **C. Malgher - Sezioni CM1 - CM6 e profilo longit. arginature e fondo da incile C. Postumia a confluenza con Rio Fosson**

Fonte: Consorzio Cellina Meduna, Progetto di sistemazione dei fiumi Sile e Fiume (ing. Aprilis, prof. Cola, dr. Sauli).
Anno: 1987.
Rif. Altimetrico: E' riportato un caposaldo sul Ponte di Lorenzaga che sembra corrispondere a quello CTR.

- **F. Reghena - Sezioni MA1 - MA8**

Fonte: Magistr. Acque, N. O. Venezia. Campagna di rilievi.
Anno: non riportato, presum. anni '70.
Rif. Altimetrico: non riportato, presum. capisaldi del Magistrato.

- **F. Reghena a Segà - Sezioni GC1 - GC2**

Fonte: Regione Veneto, Genio Civile, uff. Portogruaro. Campagna di rilievi per manutenzione e ripristino capisaldi.
Anno: 1998.
Rif. Altimetrico: CTR, appoggiato ad un caposaldo locale.

- **C. Riello - Sezioni MA20 - MA36**

Fonte: Magistr. Acque, N. O. Venezia. Progetto ricalibratura alveo C. Riello.
Anno: 1987.
Rif. Altimetrico: non riportato.

- **C. Nicesolo alla foce - Sezioni PVa1 - PVa11**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. Progetto Lavori ripristino C. Nicesolo.
Anno:
Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Nicesolo argine destro - Sezioni PVb1 - PVb41**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. Progetto Lavori ripristino C. Nicesolo.
Anno:
Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Nicesolo argine sinistro - Sezioni PVc1 - PVc27**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.
Anno: 1993 (?).
Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Nicesolo argine Valle Vecchia - Sezioni PVd1 - PVd3**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. Progetto Lavori ripristino C. Nicesolo.

Anno:

Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Canadare e Cavanella - Sezioni PVe1 - PVe29**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.

Anno:

Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Cavanella Lungo e Sindacale - Sezioni PVi1 - PVi30**

Fonte: Consorzio Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento.

Anno:

Rif. Altimetrico: CTR.

- **C. Nicesolo - Sezioni DA1 - DA12**

Fonte: Studio e sperimentazione su modello idraulico del manufatto regolatore di piena progettato dal Genio Civile di Venezia nel F. Lemene in Portogruaro. Istituto di Idraulica dell'Università di Padova. Dati indicativi su larghezza della sezione e profondità media

Anno: 1972.

Rif. Altimetrico: Genio Civile di Venezia.

- **C. Maranghetto - Sezioni DA13 - DA14**

Fonte: Studio e sperimentazione su modello idraulico del manufatto regolatore di piena progettato dal Genio Civile di Venezia nel F. Lemene in Portogruaro. Istituto di Idraulica dell'Università di Padova. Dati indicativi su larghezza della sezione e profondità media

Anno: 1972.

Rif. Altimetrico: Genio Civile di Venezia.

Nella Fig. 4.2 sono riportati i principali elementi geografici, morfologici ed idraulici utilizzati per la rappresentazione del comprensorio con il modello matematico.

Gli stessi elementi morfologici sono rappresentati alla scala 1:50.000 nell'allegato elaborato Tav. 1.

La Fig. 4.3 riporta il reticolo di calcolo utilizzato per schematizzare il comprensorio. Esso risulta formato da circa 18000 nodi, 35000 elementi bidimensionali, 1600 canali unidimensionali, e 1200 tronchi speciali, utilizzati per descrivere il funzionamento "a soglia sfiorante" degli argini dei corsi d'acqua. Dalla figura si può notare che le dimensioni e la forma degli elementi sono variabili (le lunghezze dei lati dei triangoli variano da un minimo di circa 10 m ad un massimo di circa 800 m), in modo da seguire il più accuratamente possibile le variazioni altimetriche del territorio, secondo la ricordata suddivisione in "celle" dei dati altimetrici di riferimento. In base a questo criterio le dimensioni degli elementi aumentano considerevolmente nella parte meridionale del comprensorio, dove il territorio è pianeggiante.

Il reticolo di calcolo è rappresentato, inoltre, nell'allegata Tav. 2 in scala 1:50.000, per una più chiara rappresentazione dei dati in esso contenuti, con particolare riferimento ai nodi sui quali, come verrà meglio descritto nel seguito, sono state assegnate le immissioni di portata.

Nella successiva Fig. 4.4 è rappresentata con una scala di colori la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. L'immagine mostra che la parte settentrionale del comprensorio è caratterizzata da quote più elevate e da una significativa pendenza dei terreni in direzione Nord-Sud. Risultano particolarmente evidenti gli avvallamenti in corrispondenza del corso del F. Reghena e di quello del F. Lemene. Nella parte meridionale del territorio, all'incirca a Sud della linea dell'autostrada, si riscontra invece un'altimetria sostanzialmente uniforme, e quote inferiori al livello medio del mare. In vaste zone dei terreni della bonifica le quote sono inferiori anche a -2 m s.l.m.

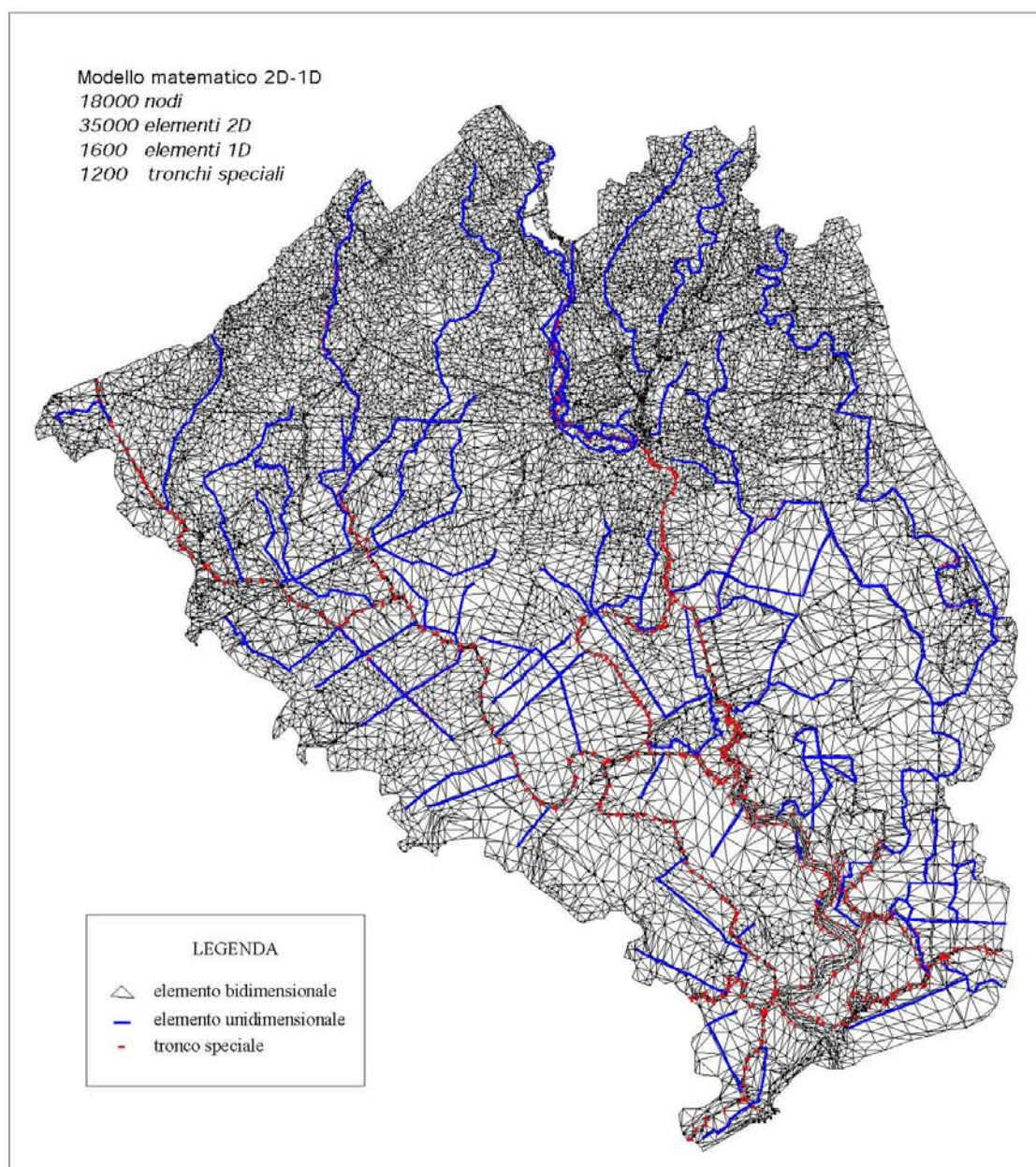


Fig. 4.3 - Modello matematico uni-bidimensionale del bacino del sistema Malgher - Fosson - Lonco Lemene. Schematizzazione del territorio con il reticolo di calcolo.

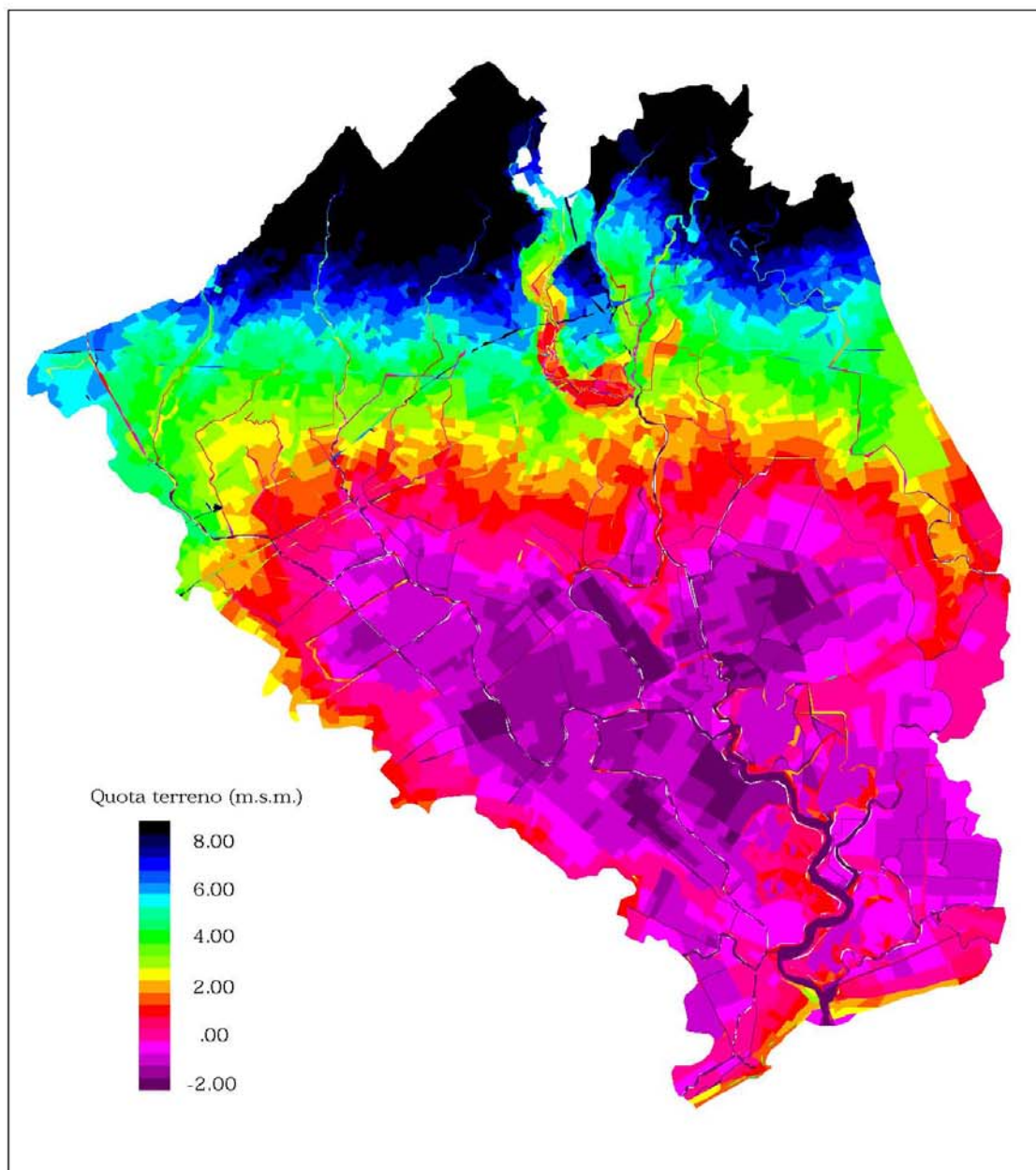


Fig. 4.4 - Modello matematico uni-bidimensionale del bacino del sistema Malgher - Fosson - Long Lemene. Schematizzazione della altimetria del territorio con il modello matematico.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione idraulica del sistema, sono stati assunti sulla base della letteratura tecnica e di precedenti esperienze in aree analoghe. Si è pertanto adottato un coefficiente di scabrezza secondo Strickler di $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per gli alvei dei corsi d'acqua e per i canali, e variabile tra 25 e $15 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le zone golenali e per le aree esterne ai corsi d'acqua.

Va ribadito a questo proposito che molto difficilmente è possibile disporre di misure contemporanee di livello e di portata necessarie per la taratura del modello ai fini della precisa determinazione dei valori del coefficiente di resistenza. Ciò non toglie peraltro validità ai risultati che questo tipo di modelli matematici, ormai lungamente collaudati, può fornire, soprattutto in casi come quello in esame, in cui l'indagine è finalizzata non tanto alla riproduzione puntuale del regime idrodinamico di un corso d'acqua della rete descritta o di uno dei sottobacini considerati, quanto piuttosto ad un'analisi comparata, attraverso i risultati ottenuti, fra le risposte del sistema a condizioni al contorno di volta in volta diverse.

Condizioni al contorno

Stima delle portate massime nei canali della rete idrografica

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni numeriche consistono principalmente nell'assegnazione dell'andamento delle portate entranti nel sistema in corrispondenza di nodi prefissati. In tale modo è possibile simulare il contributo delle varie superfici scolanti al riempimento della rete.

Nel caso del bacino del Lemene, le simulazioni sono state effettuate considerando non solo il funzionamento idraulico della rete idrografica principale, ma anche di quella della bonifica. Ciò si è reso necessario dal momento che le portate di piena dei canali della rete principale sono alimentate in modo significativo anche dai contributi delle idrovore che scaricano nei canali stessi.

In mancanza di dati osservati, le simulazioni hanno preso in considerazione degli ipotetici eventi ricostruiti utilizzando un modello idrologico di generazione delle piene a partire dalle precipitazioni.

Nell'applicazione è stato utilizzato un modello matematico afflussi-deflussi, del tipo a parametri concentrati, basato su una generalizzazione del metodo dell'idrogramma unitario nella formulazione di Nash, sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale S.r.l., ampiamente collaudato sulla base di numerose applicazioni a situazioni analoghe alla presente.

Per l'analisi si sono considerati i corsi d'acqua principali, Malgher, Loncon, Reghena, Lemene e Versiola, le cui portate di piena si originano nei rispettivi bacini a monte del limite settentrionale del territorio in esame, e i canali della bonifica, le cui portate massime derivano invece dal contributo delle piogge dirette al suolo sul territorio stesso.

Nel primo caso le condizioni al contorno sono state assegnate sul nodo di monte di tali corsi d'acqua mediante gli idrogrammi di piena calcolati con il modello idrologico applicato ai bacini di monte. Nel secondo caso il modello è stato applicato ai sottobacini della bonifica, raggruppati in tre classi omogenee per estensione della loro superficie (minore di 1000 ha, compresa tra 1000 e 2000 ha, maggiore di 2000 ha), e i risultati ottenuti, in termini di idrogrammi di portata, sono stati assegnati su nodi prefissati distribuiti lungo i canali.

Nella Tabella 4.3 sono indicati i valori assunti per i parametri del modello, dai quali dipende, per ciascun sottobacino, la forma dell'idrogramma conseguente ad un impulso unitario di precipitazione. In generale, i valori dei parametri assunti, sono stati definiti dopo alcune simulazioni eseguite per riprodurre, partendo dalle precipitazioni, i valori probabili delle portate di piena calcolati in alcuni nodi particolari del reticolo idrografico in esame ed indicati negli studi e nelle relazioni di riferimento citate in precedenza.

Allo scopo si è fatto riferimento alle fonti bibliografiche disponibili. In particolare si sono recepiti gli studi redatti sull'argomento dal Consorzio di Bonifica Cellina-Meduna [13] e dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, nonché, per quanto riguarda il Lemene, gli elementi contenuti nel già citato progetto di sistemazione del fiume a Portogruaro.

In Tabella 4.3 sono, inoltre, riportati alcuni parametri morfometrici (lunghezza L dell'asta, area A del bacino, differenza $H_{med}-H_{sez}$ tra la quota media del bacino e quella della sua sezione di chiusura.) utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione con alcune tra le più note formule concettuali reperibili in letteratura. Per quanto riguarda la stima del tempo al colmo dell'idrogramma unitario superficiale e profondo (t_s e t_p) per i corsi d'acqua principali si è fatto riferimento al tempo di corrivazione T_c calcolato con la relazione di Giandotti, mentre per i comprensori della bonifica si è considerato il tempo di corrivazione determinato sulla base della

relazione di Ongaro, che fornisce valori più appropriati per i bacini del tipo di quelli in esame. Al parametro t_s si è attribuito un valore pari al tempo di corrivazione così calcolato. Per il deflusso profondo si è assunto invece un valore del tempo al colmo dell'idrogramma unitario (t_p) pari a 1.5 – 2 volte quello considerato per il deflusso superficiale.

Per il cosiddetto “deflusso superficiale”, in analogia con situazioni simili, il valore di n_s è stato assunto costante e pari a 3 per ogni sottobacino, mentre per il “deflusso profondo” il valore di n_p è stato valutato pari alla metà di n_s .

Per quanto riguarda infine i coefficienti di deflusso superficiale Φ_s e totale Φ_{tot} i loro valori sono stati valutati in analogia con quelli di altri bacini della pianura veneta sui quali è stato applicato lo stesso tipo di calcolo.

Per quanto riguarda il regime pluviometrico dei diversi bacini considerati, per il calcolo delle portate al colmo di piena conseguenti ad eventi con diverso tempo di ritorno (50 e 100 anni) e diverse durate dell'evento meteorico, si è fatto riferimento ai risultati delle elaborazioni statistiche dei dati di precipitazione massima registrati ai pluviometri di S. Vito al Tagliamento, Azzano Decimo, Portogruaro, riportate negli studi citati, in particolare in quello del Consorzio Cellina Meduna [13]. Per quanto concerne la distribuzione dell'altezza di precipitazione nell'intervallo di tempo (durata dell'evento) di volta in volta considerato, si è assunta una distribuzione variabile secondo una particolare funzione di tipo Beta, che rappresenta una forma dello ietogramma che meglio si adatta ad eventi reali.

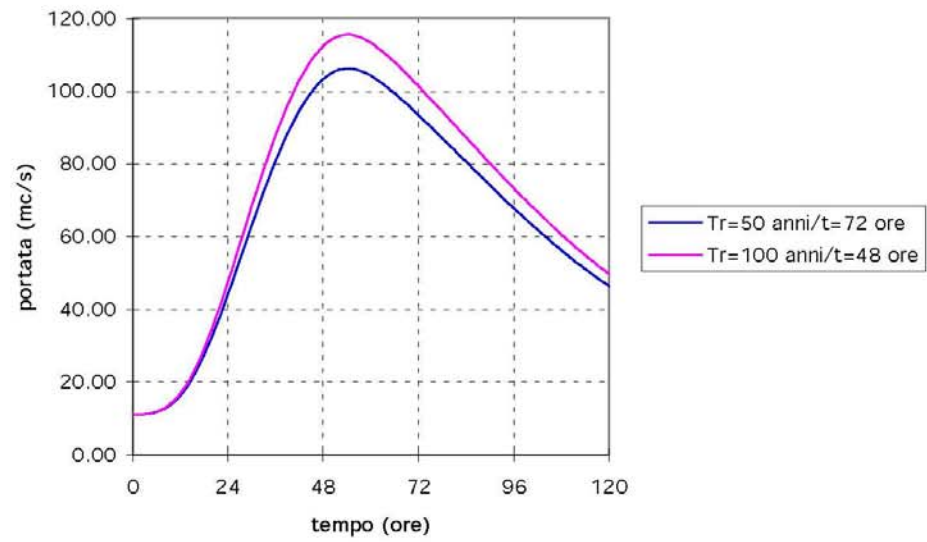
Assumendo le ipotesi appena descritte, mediante il modello idrologico sono state generate le piene per i corsi d'acqua principali conseguenti a piogge con tempo di ritorno di 50 e 100 anni e durata variabile da 12 ore a 120 ore, adottando per i diversi sottobacini considerati i coefficienti di deflusso riportati in tabella 3.3.

Nella Fig. 4.5 sono riportati gli andamenti degli idrogrammi di piena così calcolati per i corsi d'acqua in esame in corrispondenza della sezione di immissione nel territorio oggetto di studio. Dai grafici si rileva che, sulla base dei calcoli condotti, relativamente alla portata massima gli eventi meteorici critici per i bacini in esame hanno una durata relativamente elevata, pari a 48 – 72 ore. I valori al colmo degli idrogrammi di piena, per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, sono pari rispettivamente a 95 m³/s e a 105 m³/s per il Postumia – Malgher, a 44 m³/s e a 48 m³/s per il Loncon, a 50 m³/s e a 55 m³/s per il Lemene, e a 12 m³/s e a 14 m³/s per la Roggia Versiola.

Per il fiume Reghena, in mancanza dei dati necessari per l'applicazione della procedura di generazione delle piene, si è assunto che data la contiguità dei bacini e la loro confrontabile estensione, gli idrogrammi di piena abbiano la stessa forma di quelli già calcolati per il Lemene. Per la valutazione delle portate al colmo si è assunto come riferimento quanto riportato nello “Studio e sperimentazione su modello idraulico del manufatto regolatore di piena progettato dal Genio Civile di Venezia nel F. Lemene in Portogruaro”, Istituto di Idraulica dell'Università di Padova, 1972, e negli studi successivi del Consorzio Cellina Meduna [13] e del Magistrato alle Acque [12]. In tali indagini, per tempi di ritorno approssimativamente centenari, si assume che la portata del sistema Reghena - Cao Maggiore sia praticamente confrontabile per valore massimo con quella del sistema Lemene - Roggia Versiola, e pari a circa 90 - 95 m³/s. Pertanto, note le portate massime del Lemene, della Roggia Versiola e del Cao Maggiore, le portate massime del Reghena sono state determinate in modo da mantenere immutato il rapporto tra le portate massime dei due sistemi fluviali.

L'andamento nel tempo delle portate specifiche entranti sui nodi di immissione interni al dominio (nodi lungo i canali della rete di bonifica) è stato calcolato con un criterio analogo, ma considerando per le piogge (relative alla stazione di Portogruaro) solo gli eventi con tempo di ritorno di 30 anni. In questo modo si è voluto esaminare il funzionamento della rete idrografica

POSTUMIA - MALGHER



LONCON

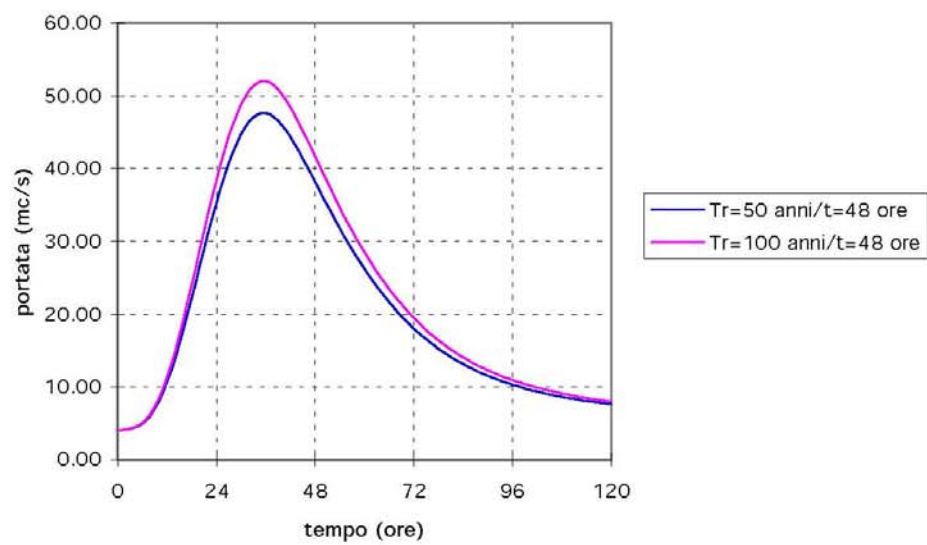
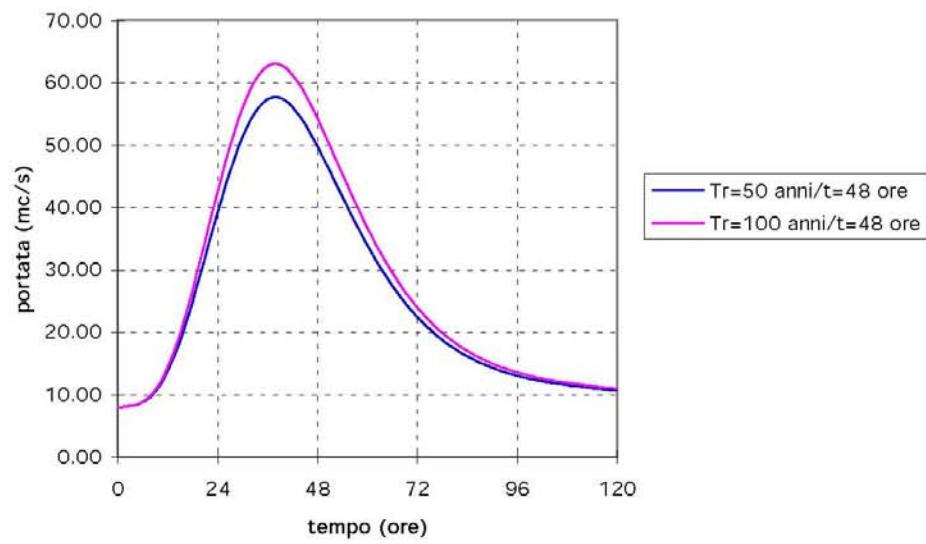


Fig. 4.5 - Andamento delle portate assunte come condizione al contorno nelle simulazioni.

LEMENE



VERSIOLA

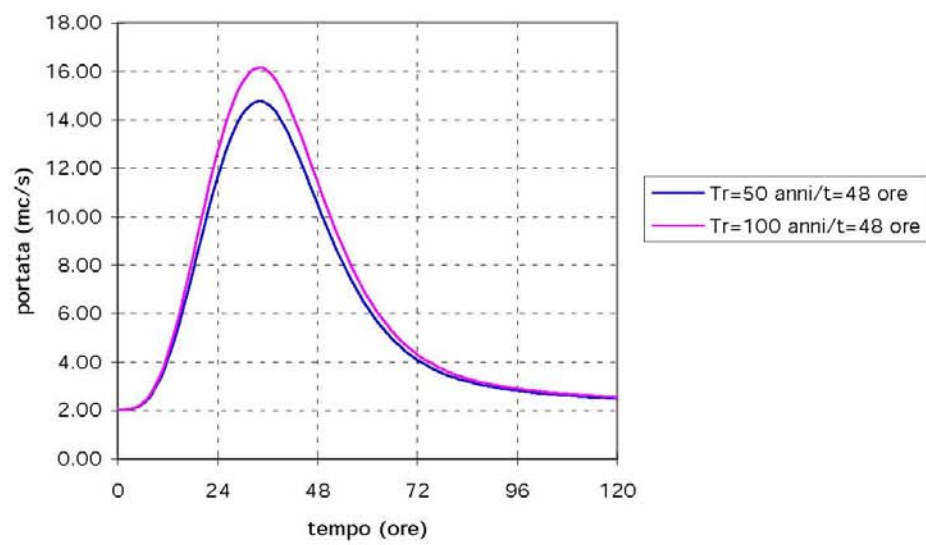
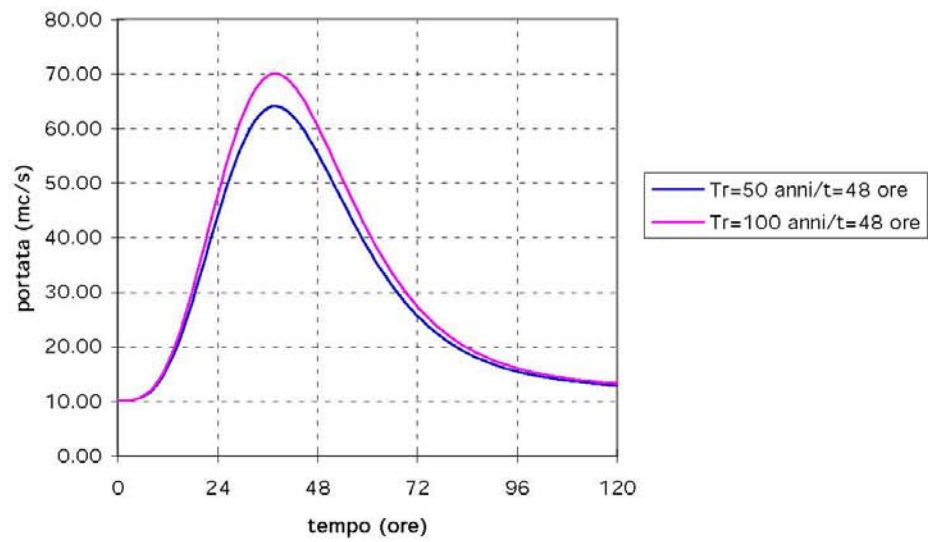


Fig. 4.5 - continua.

REGHENA



COMPENSORI DI BONIFICA

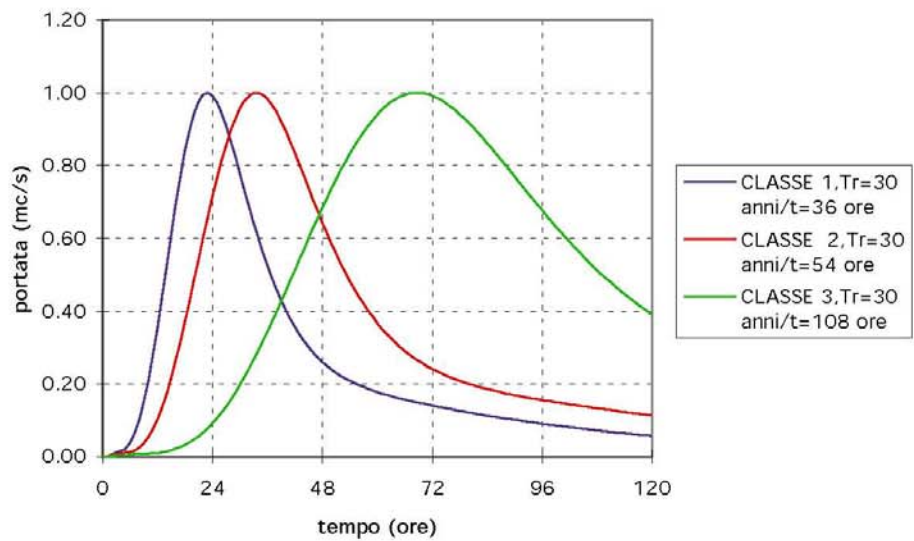


Fig. 4.5 - continua.

principale in occasione di eventi di particolare gravità (50 o 100 anni di frequenza probabile di accadimento), in concomitanza con eventi di piena nella rete minore aventi tempo di ritorno di minore entità (30 anni).

L'ultimo grafico della Fig. 4.5 riporta gli idrogrammi di piena calcolati con il modello idrologico per le tre classi di bacino. Le curve sono state ragguagliate al valore unitario in corrispondenza della portata al colmo, poiché, per ciascuno dei 39 sottobacini considerati nelle simulazioni, le portate massime sono state dedotte dai dati forniti dal Consorzio Pianura Veneta, tratti dal Piano Generale di Bonifica.

In particolare sono riportate, per ciascun sottobacino, le portate massime di piena per le sezioni terminali dei collettori valutate, per un tempo di ritorno di 30 anni, a partire dai dati di pioggia giornaliera. Nei calcoli tali portate massime sono state distribuite sui nodi di immissione individuati lungo i canali, ed associati agli andamenti nel tempo rappresentati dalle curve di Fig. 4.5.

La tabella 4.4 riassume i risultati di questa elaborazione per tutti i 41 sottobacini considerati.

Come già detto in precedenza, nella allegata Tav. 2 sono evidenziati i 119 nodi del reticolo di calcolo ai quali sono state associate le immissioni di portata.

Contributo degli impianti idrovori allo smaltimento delle portate di piena

Il collegamento tra i canali della rete di bonifica e i collettori principali (Malgher, Loncon, Lemene) è stato descritto nel modello introducendo una serie di tronchi speciali che simulano il funzionamento degli impianti idrovori. Per ciascun impianto, i dati che descrivono gli impianti di sollevamento delle portate sono costituiti dal numero di gruppi pompa installati, dalla portata sollevata da ciascuno di essi e dalle relative quote idrometriche di attacco e stacco.

La precedente tabella 4.1 riporta tali dati per gli impianti del comprensorio, forniti dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento. Il Consorzio gestisce con un sistema di telecontrollo quasi tutti gli impianti della bonifica, ad eccezione delle già menzionate bonifiche private. Non potendo disporre dei dati relativi agli impianti privati, per essi le portate sono state stimate sulla base delle superfici dei territori serviti.

Complessivamente gli impianti considerati nella schematizzazione sono 38, e la somma delle portate che essi complessivamente sono in grado di scaricare ammonta a circa 175 m³/s.

I livelli di marea sui nodi alla foce

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni numeriche sono completate dall'assegnazione dei livelli di marea sui nodi terminali alla foce dei corsi d'acqua.

Poiché per tutto il sistema idrografico del bacino del Lemene le oscillazioni del livello del mare assumono un ruolo rilevante sulla propagazione delle piene e sui livelli massimi che si possono raggiungere in corrispondenza delle diverse sezioni dei corsi d'acqua, con le simulazioni si sono prese in esame due diverse condizioni di marea. In un caso si è considerata una ipotetica marea come quelle che possono verificarsi in condizioni di sizigia, con un andamento sinusoidale di periodo pari a 12 ore, ampiezza pari ad 1 m oscillante attorno alla quota 0.0 m s.l.m.; in un secondo caso è stato simulato un evento di alta marea eccezionale, con massimo a +1.5 m s.l.m..

Caso A - Simulazione di un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno di 50 anni

Condizioni al contorno

Utilizzando il reticolo uni-bidimensionale e le condizioni al contorno descritti ai punti precedenti, mediante il modello matematico sono state condotte alcune simulazioni considerando eventi di piena che, allo stato attuale, possono essere ritenuti critici per la sicurezza idraulica del comprensorio in esame. L'analisi ha preso innanzitutto in considerazione la propagazione di onde di piena aventi tempo di ritorno di 50 anni, valutate con il modello idrologico come illustrato al punto precedente.

Una simulazione preliminare ha preso in esame il funzionamento del sistema in condizioni di moto permanente, quando nei corsi d'acqua principali provengono, dai bacini di monte, portate normali confrontabili con quelle prodotte dal solo contributo delle risorgive. Nella stessa simulazione in ipotesi stazionarie, si è considerato che il contributo della rete minore fosse pari al 10% delle portate di massima di piena, indicate nella precedente Tabella 4.4.

Nelle successive simulazioni a moto vario gli idrogrammi di piena assegnati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali sono stati ottenuti sovrapponendo gli andamenti valutati con il modello idrologico a quelli di moto permanente.

In sintesi, nelle simulazioni a moto vario, gli idrogrammi di piena applicati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali risultano caratterizzati dai seguenti valori di portata iniziale e massima.

Corso d'acqua	Portata iniziale (permanente)	Portata massima (T_r = 50 anni)
Malgher	11 m ³ /s	106.2 m ³ /s
Loncon	4 m ³ /s	47.6 m ³ /s
Regghena	10 m ³ /s	64.1 m ³ /s
Lemene	8 m ³ /s	57.7 m ³ /s
Roggia Versiola	2 m ³ /s	14.8 m ³ /s

Gli idrogrammi di piena da assegnare sui nodi dei corsi d'acqua della rete minore, sono stati ottenuti invece utilizzando i valori massimi indicati in Tabella 4.4, e gli andamenti nel tempo illustrati nella Fig. 4.5. Di tali idrogrammi è stata modificata la parte iniziale, in modo da fare coincidere il dato iniziale della simulazione con il valore assegnato il calcolo preliminare a moto permanente, pari, come si è detto, al 10 % della portata massima.

Per quanto riguarda i nodi del contorno a mare in corrispondenza della foce di Falconera, nel calcolo preliminare a moto permanente è stata assegnato un livello costante e pari a 0.0 m s.l.m.. Nei calcoli relativi alla propagazione delle piene tale livello è stato fatto variare nel tempo per simulare gli effetti dovuti alle oscillazioni della marea.

In un primo caso la marea è stata fatta variare secondo un andamento sinusoidale, con un'ampiezza di 1.0 m, periodo di 12 ore e valore medio pari a 0.0 m s.l.m. In questo modo si è simulato l'effetto di una marea di sizigia ordinaria, con valore massimo del livello idrometrico pari a 0.5 m s.l.m..

In un secondo caso la marea è stata fatta oscillare secondo un andamento sinusoidale con ampiezza di 1.0 m e periodo di 12 ore, ma attorno al valore medio di 1.0 m s.l.m.. In questo

modo si è voluto analizzare l'effetto di una situazione di alta marea eccezionale alla foce, con valore massimo del livello idrometrico pari a 1.5 m s.l.m..

Infine, per quanto riguarda il contributo del C. Riello, che scarica parte delle portate di piena del F. Livenza nella foce del C. Nicesolo, si è ipotizzato che esso sia costante e pari a $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

La durata complessiva della simulazione è di 120 ore. L'intervallo temporale di integrazione adottato è di 5 s, per un totale di 86400 passi di calcolo.

Caso A.1 - Marea di sizigia ordinaria

Con riferimento alla simulazione A.1 che prevede come condizione al contorno in mare la marea di sizigia ordinaria alcuni risultati del calcolo sono riportati nelle seguenti Figure 4.6 ÷ 4.11.

In particolare sono stati estratti gli andamenti delle portate e dei livelli in alcune sezioni significative individuate lungo il corso del Malgher - Loncon, del Lemene e del C. Nicesolo.

Le Figg. 4.6 e 4.7 illustrano l'andamento del livello e della portata in 5 sezioni lungo il corso del Malgher - Loncon. Le sezioni rappresentative sono state individuate all'estremo settentrionale dell'asta in corrispondenza della statale SS 53 Postumia, a Corbolone subito a valle del salto, all'altezza dell'idrovora Lison II, nel C. Maranghetto a monte della confluenza con il F. Lemene e nello stesso C. Maranghetto prima della confluenza con il C. Nicesolo. Una ulteriore sezione è stata materializzata all'inizio del vecchio corso del F. Lemene, che del C. Loncon costituisce oggi una diramazione.

Con riferimento all'andamento dei livelli (Fig. 4.6) si osserva in primo luogo che i livelli massimi che si stabiliscono nel canale Malgher nel tratto di monte (circa 5.4 m s.l.m.) sono sensibilmente più elevati di quelli che si stabiliscono a valle del salto di Corbolone (circa 3.2 m s.l.m). La differenza di oltre 2 m è dovuta alla soglia che, realizzando un dislivello di quasi 4 m tra le quote del fondo a monte e a valle del manufatti, di fatto introduce una discontinuità nel profilo del pelo libero del canale.

I grafici relativi alle sezioni ubicate a valle del salto evidenziano un significativo effetto della marea che induce delle oscillazioni del livello, via via più accentuate man mano che le sezioni si approssimano alla confluenza con il C. Nicesolo.

Per quanto riguarda l'andamento delle portate lungo il Malgher - Loncon (Fig. 4.7), si osserva che la portata massima iniziale di $106.2 \text{ m}^3/\text{s}$ alla sezione di monte, si incrementa progressivamente di circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$ a valle del salto di Corbolone, per effetto del contributo dell'idrovora Vidisè e dell'immissione della Fossa Fosson.

Per le sezioni poste più a valle gli andamenti delle portate evidenziano da una parte l'effetto della marea che induce delle marcate oscillazioni nei valori delle portate fluenti, dall'altra l'incremento delle portate massime che aumentano fino a circa $175 \text{ m}^3/\text{s}$ all'altezza dell'idrovora Lison II, a causa dei contributi degli impianti idrovori e dei corsi d'acqua immissari, tra i quali principalmente il F. Loncon.

In corrispondenza della sezione ubicata a monte della confluenza con il Lemene le portate massime risultano ridotte a circa $135 \text{ m}^3/\text{s}$, poichè una frazione significativa delle portate del Malgher - Loncon fluisce verso la foce del Nicesolo attraverso il vecchio ramo terminale del Lemene. Tale frazione, rappresentata anch'essa nel grafico di Fig. 4.7, è quantificata dal calcolo in poco più di $50 \text{ m}^3/\text{s}$ al suo massimo.

Infine, a seguito del contributo del F. Lemene, le portate massime che dal Malgher - Loncon confluiscono nel C. Nicesolo risultano, nel caso in esame, pari a circa $170 \text{ m}^3/\text{s}$.

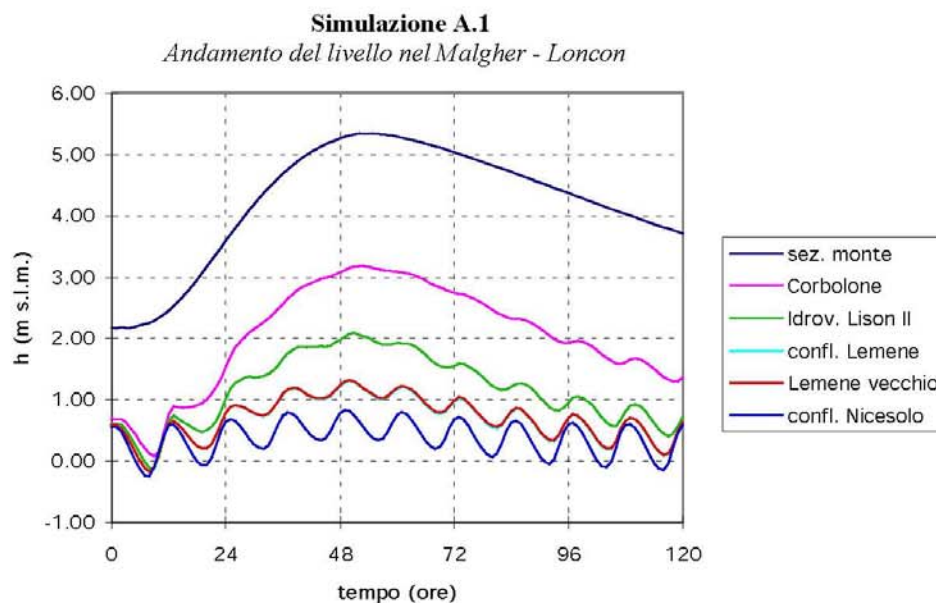


Fig. 4.6 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon nella simulazione relativa al caso A.1

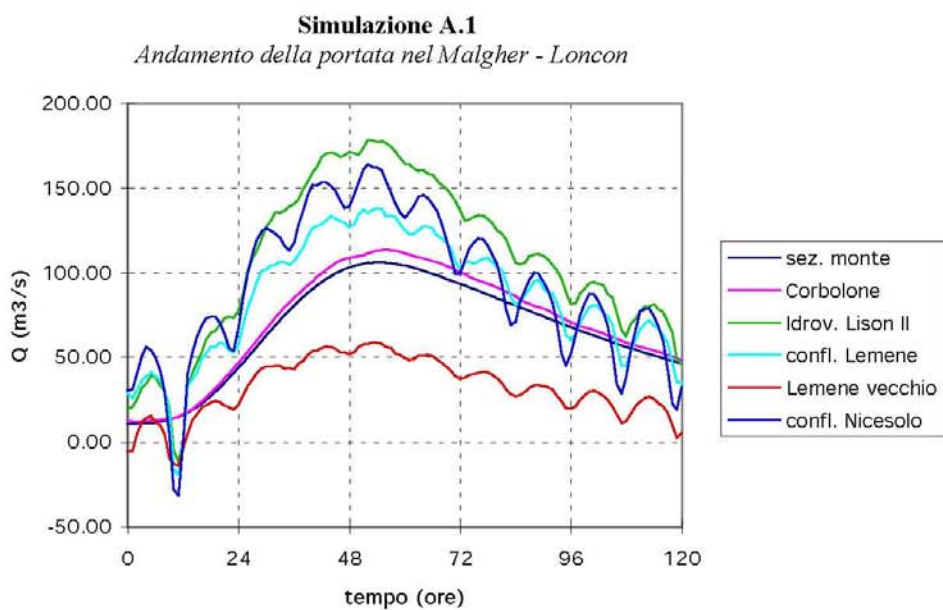


Fig. 4.7 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon nella simulazione relativa al caso A.1

I successivi grafici delle Figg. 4.8 e 4.9, illustrano l'andamento dei livelli e delle portate che, nelle ipotesi assunte, si verificano in alcune sezioni lungo il F. Lemene e lungo il C. Cavanella Lungo.

Per il Lemene le sezioni rappresentative sono state individuate a monte di Portovecchio in località Cintello, in Portogruaro all'altezza dell'attraversamento della ferrovia VE-TS, a Concordia Sagittaria poco a valle della confluenza con il F. Reghena, in località Cavanella immediatamente a monte della diramazione del C. Cavanella Lungo, e subito a monte della confluenza nel C. Maranghetto. Per il C. Cavanella Lungo è stata materializzata una sezione all'altezza dell'abitato di Sindacale.

Per quanto riguarda i livelli, dalla Fig. 4.8 si nota innanzitutto che nel tratto di monte la pendenza del profilo del pelo libero è significativa, poichè i livelli massimi che si realizzano in località Cintello, a monte di Portogruaro, sono di circa 7.5 m s.l.m., mentre a Portogruaro all'altezza dell'attraversamento ferroviario tali livelli massimi si riducono a circa 3.3 m s.l.m.. Dato lo sviluppo di circa 6.0 km della tratta fluviale tra le due sezioni, si ricava approssimativamente una pendenza media del pelo libero di circa 0.7 ‰.

A valle di Portogruaro la pendenza del fondo del corso d'acqua praticamente si annulla e le differenze tra i livelli massimi sono legate essenzialmente alle dissipazioni di energia nella propagazione delle portate massime. Si nota inoltre anche in questo caso una significativa dipendenza dell'andamento dei livelli dalle oscillazioni della marea.

Si osserva in particolare che all'altezza di Concordia Sagittaria il livello massimo nel F. Lemene raggiunge i 2.0 m s.l.m., e si riduce fino a circa 1.2 m s.l.m. all'altezza della confluenza nel C. Maranghetto. Nel C. Cavanella lungo il livello massimo all'altezza di Sindacale è di circa 1.9 m s.l.m..

Per quanto riguarda le portate, il grafico di Fig. 4.9 mette in evidenza come la portata massima del Lemene che a Cintello è di poco meno di 60 m³/s, si incrementa fino a quasi 70 m³/s all'altezza della ferrovia VE-TS, per effetto dell'immissione della Roggia Versiola.

Per le sezioni del Lemene a valle di Portogruaro le portate massime sono sensibilmente maggiori, per effetto del contributo del F. Reghena il cui idrogramma in ingresso a monte è caratterizzato da una portata massima di 64.1 m³/s, e raggiungono, all'altezza di località Cavanella, i 120 m³/s.

Per quanto riguarda la ripartizione delle portate di piena tra F. Lemene e C. Cavanella Lungo, dal grafico si evince che la gran parte delle portate stesse tende a defluire per quest'ultimo collettore, anche per effetto dei livelli sostenuti che si realizzano nel C. Maranghetto a causa della concomitante piena del Malgher-Loncon e che tendono ad ostacolare il deflusso delle portate nel F. Lemene. Di conseguenza, mentre nel F. Lemene le portate massime all'altezza della confluenza in Maranghetto superano di poco i 20 m³/s, e tendono a ridursi fino all'annullamento nelle fasi di esaurimento della piena, nel C. Cavanella lungo le portate massime, a causa anche dei contributi della rete di bonifica, superano i 130 m³/s.

Le Figg. 4.10 e 4.11 illustrano, infine, i risultati della simulazione per la parte terminale del sistema idraulico considerato, rappresentata dal C. Nicesolo.

Lungo il Nicesolo sono state considerate 4 sezioni significative: a valle della confluenza tra Maranghetto e C. Cavanella lungo, all'altezza della confluenza con il C. degli Alberoni, all'altezza della confluenza con il C. Riello e in corrispondenza dell'abitato di Porto Falconera.

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli (Fig. 4.10) il grafico mette in evidenza che le quote idrometriche nel Nicesolo sono sostanzialmente controllate, anche in occasione di piene eccezionali come quella qui considerata, dalle escursioni del livello di marea.

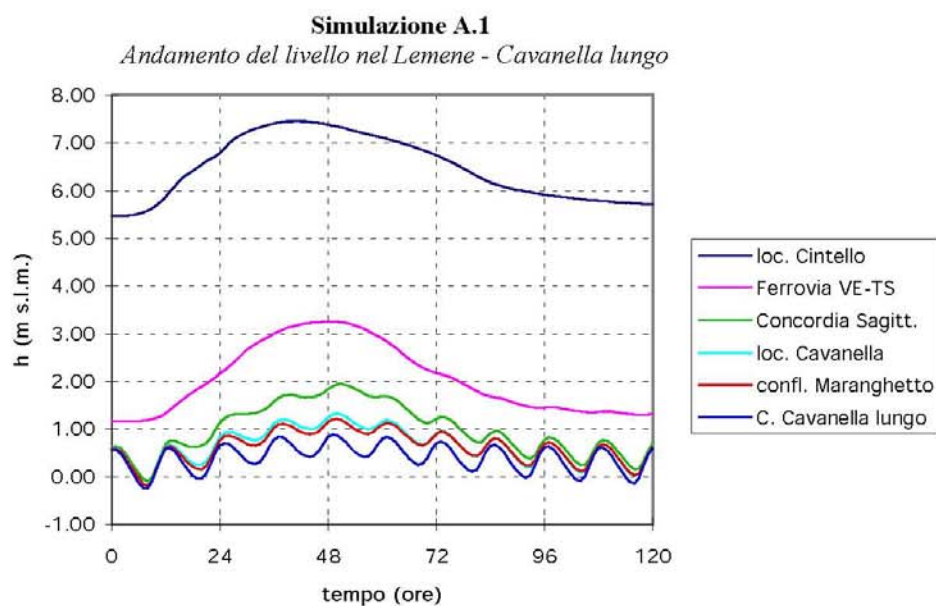


Fig. 4.8 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso A.1

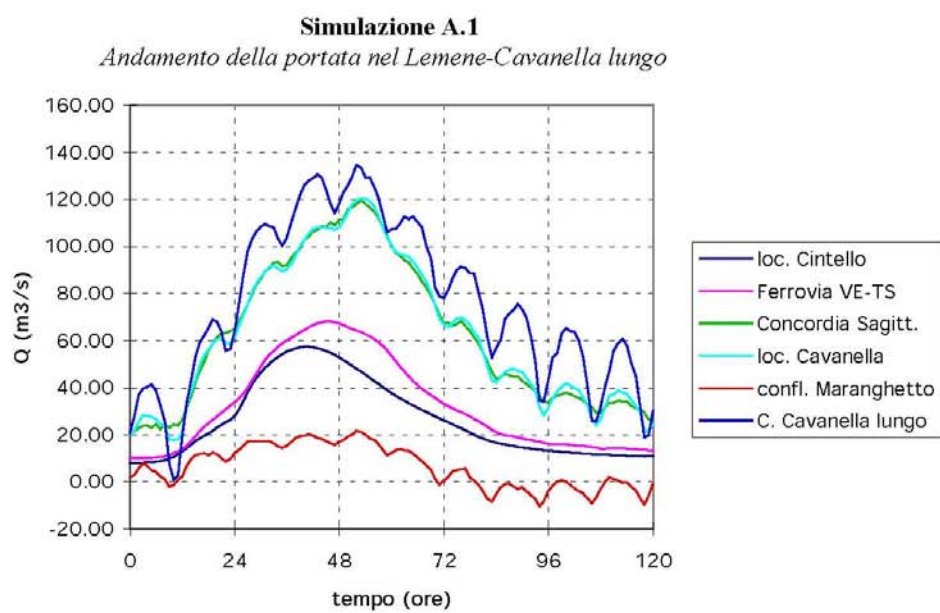


Fig. 4.9 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso A.1

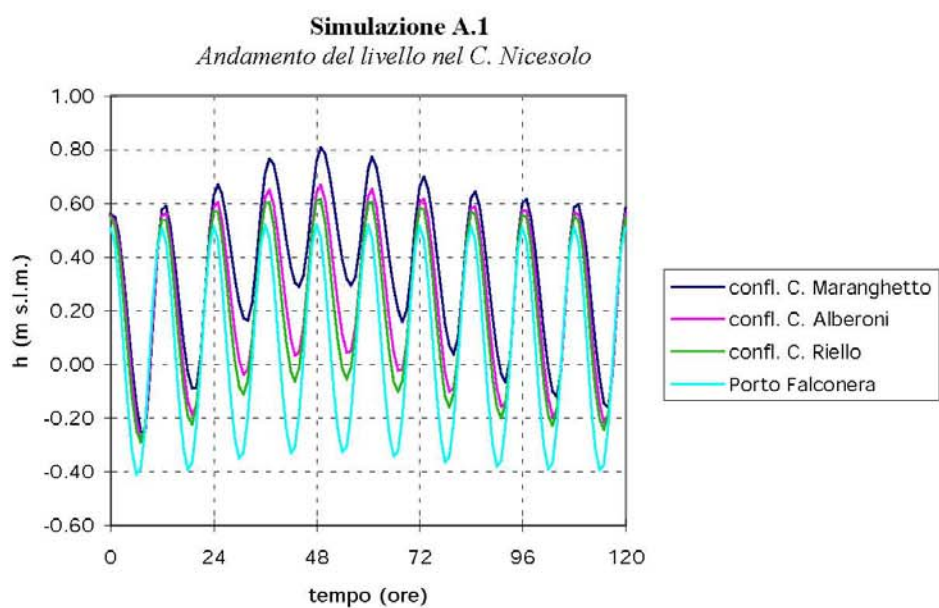


Fig. 4.10 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso A.1

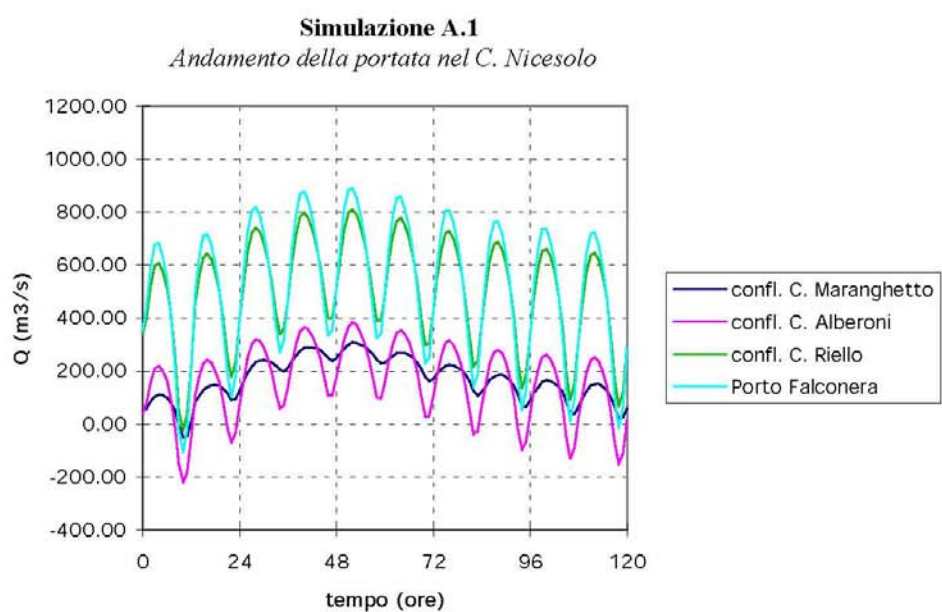


Fig. 4.11 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso A.1

In particolare, il livello massimo raggiunto nella sezione di monte, poco a valle della confluenza tra Maranghetto e C. Cavanella lungo, è di circa 0.80 m s.l.m., a fronte della quota di 0.50 m s.l.m. raggiunta dalla marea assegnata alla foce. Nella stessa sezione di monte l'escursione del livello, che in mare è di 1.0 m, è pari a circa 0.5 m.

L'ampiezza delle oscillazioni aumenta, come è ovvio, procedendo verso la foce, ed è pari a circa 0.60 m all'altezza della confluenza con il C. Alberoni, e a circa 0.70 m all'altezza della confluenza con il C. Riello.

Anche per quanto riguarda l'andamento delle portate (Fig. 4.11), i risultati del calcolo mettono in evidenza il ruolo rilevante assunto dalla marea, soprattutto nelle sezioni terminali. Infatti, mentre nella sezione di monte (C. Maranghetto) il valore massimo della portata fluente è di circa 300 m³/s con oscillazioni legate alla marea che sono dell'ordine di quasi 100 m³/s, all'altezza della confluenza con il C. Alberoni le portate massime raggiungono i 400 m³/s, ma con oscillazioni dovute alla marea pari a quasi 300 m³/s.

A valle della confluenza con il C. Riello, che nelle ipotesi assunte contribuisce alla piena con una portata costante di 300 m³/s, le portate massime risultano pari a oltre 800 m³/s, mentre le variazioni delle portate per effetto della marea considerata sono dell'ordine di 400 m³/s.

Caso A.2 - Alta marea eccezionale

Con riferimento alla simulazione A.2 che prevede come condizione al contorno in mare un andamento di marea sinusoidale di ampiezza pari a 1.0 m oscillante attorno alla quota 1.0 m s.l.m., alcuni elementi significativi sono riportati nelle seguenti Figure 4.12 ÷ 4.17.

Per il Malgher - Loncon i risultati ottenuti, in termini di livelli e di portate sono riportati nelle Figg. 4.12 e 4.13. Confrontando tali grafici con quelli analoghi del caso precedente A.1 (Figg. 4.6 e 4.7) si osservano gli effetti prodotti dalle diverse condizioni di marea alla foce.

A monte del salto di Corbolone tali effetti sono modesti, essendo la differenza sui livelli massimi pari a soli 3 cm. A valle, invece, la differente condizione imposta sul livello alla foce produce un innalzamento generalizzato del profilo del pelo libero. All'altezza di Corbolone (a valle del salto) il valore massimo raggiunto è di 3.28 m s.l.m. (contro 3.17 m s.l.m. nel caso A.1) e all'altezza dell'idrovora Lison II di 2.28 m s.l.m. (contro 2.05 m s.l.m. nel caso A.1).

In corrispondenza della confluenza con il Lemene, il livello nel Loncon è pari al massimo a 1.78 m s.l.m. (raggiungeva al massimo 1.30 m s.l.m. nel caso precedente A.1) e alla confluenza con il Nicesolo tale livello massimo è pari a 1.63 m s.l.m. (contro 0.82 m s.l.m. nel caso A.1).

Analizzando nel dettaglio i risultati del calcolo lungo tutta l'asta del Malgher - Loncon si osserva peraltro che in alcuni punti del corso del Loncon, in prossimità dell'idrovora Lison II e poco più a valle, verso il canale Fossa Possidenza, il modello segnala delle tracimazioni delle arginature nella fase del passaggio del colmo della piena. In tale tratta, sulla base dei dati assunti per la geometria del corso d'acqua, le quote delle sommità arginali sono in alcuni punti dell'ordine di 2.2 - 2.3 m s.l.m. e quindi sono, sia pur di pochi centimetri, superate dai locali livelli idrometrici massimi.

Come conseguenza di queste tracimazioni risulta inoltre che i livelli massimi che si raggiungono a monte di tali tratti critici sono in buona misura controllati dalle quote idrometriche delle sommità arginali superate dall'esondazione, e non possono quindi crescere di molto oltre tali limiti.

L'andamento delle portate lungo il Malgher - Loncon (Fig. 4.13), se confrontato con quello relativo al caso A.1 (Fig. 4.7), mostra invece che le diverse condizioni di marea imposte alla foce influenzano in modo relativamente modesto l'andamento delle portate. Differenze quasi trascurabili si riscontrano per la sezione di monte e per la sezione a valle del salto di Corbolone.

Per le sezioni poste più a valle si osserva principalmente un aumento dell'entità delle oscillazioni della portata legate all'andamento della marea. Se si opera però una media in modo da filtrare le oscillazioni di marea si osserva che l'entità di tali portate "medie" si modifica di poco: si osserva in particolare una loro leggera diminuzione (stimabile in circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$) che dipende dalle già menzionate esondazioni in prossimità dell'idrovora Lison II.

I risultati relativi al F. Lemene sono illustrati nelle Figg. 4.14 e 4.15.

Dal confronto tra tali diagrammi e quelli relativi al caso A.1 si evince che nella parte alta del corso del Lemene, a monte di Portogruaro, i livelli massimi risultano solo di pochi centimetri maggiori rispetto a quelli del caso precedente. A valle di Concordia Sagittaria, invece, i livelli sono sensibilmente più sostenuti dalle maggiori quote di marea.

Per quanto riguarda le portate, il loro andamento non subisce sostanziali variazioni a causa dei maggiori livelli di marea. Risulta solamente più accentuata l'oscillazione delle portate in dipendenza delle variazioni del livello di marea. Tali maggiori oscillazioni sono legate principalmente alle minori dissipazioni che si verificano nella propagazione delle portate di piena con più sostenuti tiranti d'acqua.

Infine i risultati della simulazione con riferimento al C. Nicesolo sono riportati nelle Figg. 4.16 e 4.17.

Per quanto riguarda i livelli, se si confronta la Fig. 4.16 con quella corrispondente relativa al caso A.1 (Fig. 4.10) si nota che, come è del resto ovvio, i livelli raggiungono valori massimi ben più elevati del caso precedente. Alla sezione di monte del Nicesolo (confluenza del C. Maranghetto) si supera la quota $+1.60 \text{ m s.l.m.}$, e l'ampiezza dell'oscillazione del livello è pari a circa 0.7 m .

Procedendo verso la foce, si osserva che si incrementa in modo sensibile l'ampiezza delle oscillazioni del livello, mentre i livelli massimi diminuiscono solo leggermente, raggiungendo alla foce il valore assegnato di 1.5 m s.l.m. .

E' significativo osservare a tale proposito la cospicua riduzione della pendenza del profilo idrometrico rispetto al precedente caso A.1, a causa dei più sostenuti livelli alla foce.

Le maggiori altezze di marea amplificano anche le oscillazioni della portata nel C. Nicesolo. Al passaggio del colmo della piena le portate massime alla foce di Porto Falconera, che nel caso A.1 erano pari a meno di $900 \text{ m}^3/\text{s}$, ora raggiungono i $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, e le portate minime, che prima erano pari a circa $350 \text{ m}^3/\text{s}$, ora sono inferiori a $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Anche in questo caso le maggiori escursioni dell'andamento della portata possono essere ricondotte alle minori resistenze idrauliche che si verificano nel C. Nicesolo a causa dei maggiori tiranti d'acqua.

La seguente Fig. 4.18 riporta una sequenza di immagini che illustra con una scala di colori la distribuzione delle altezze d'acqua calcolata con il modello in diversi istanti successivi della simulazione. Tali immagini sono estratte dalle sequenze generate dal modello matematico, che consentono di visualizzare in forma di animazione i risultati del calcolo. Per una migliore e più completa analisi dei risultati è possibile consultare le animazioni complete, che sono state memorizzate su supporto magnetico e sono allegate al presente studio.

La prima immagine, relativa all'istante iniziale della simulazione, mostra che in tale istante ($T = 0$) le zone allagate sono limitate agli alvei dei corsi d'acqua principali, ai canali della rete di bonifica e, nella parte meridionale del comprensorio, alle aree coperte dagli specchi d'acqua lagunari e dalle valli da pesca. Sono riconoscibili inoltre, all'estremità settentrionale del comprensorio stesso, le aree occupate da alcuni laghetti in prossimità dell'abitato di Cao Maggiore.

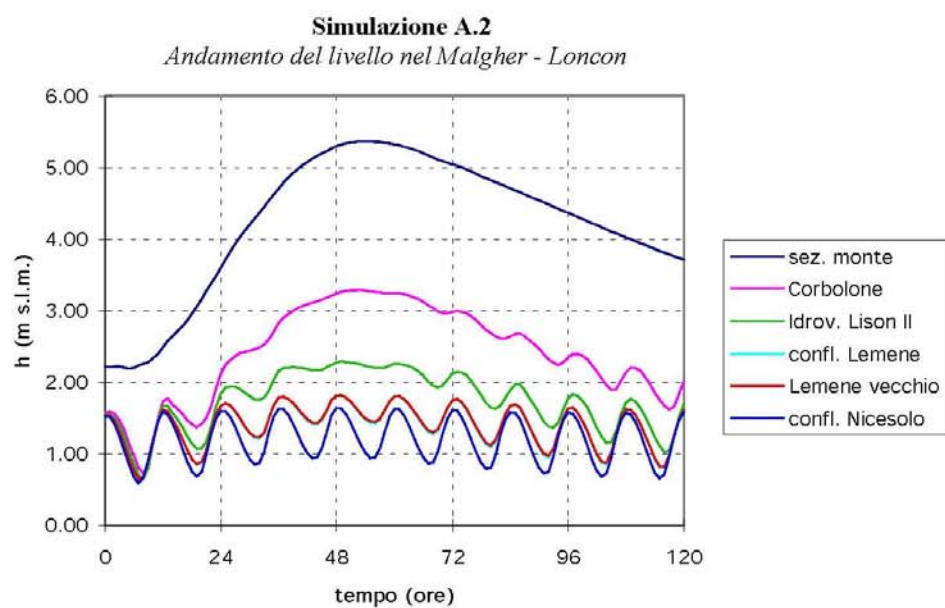


Fig. 4.12 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon nella simulazione relativa al caso A.2

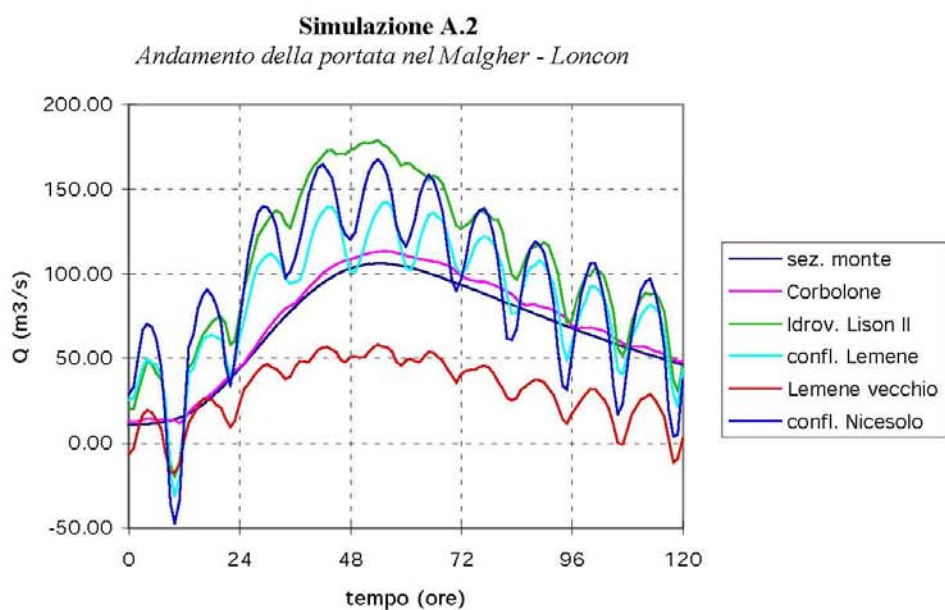


Fig. 4.13 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon nella simulazione relativa al caso A.2

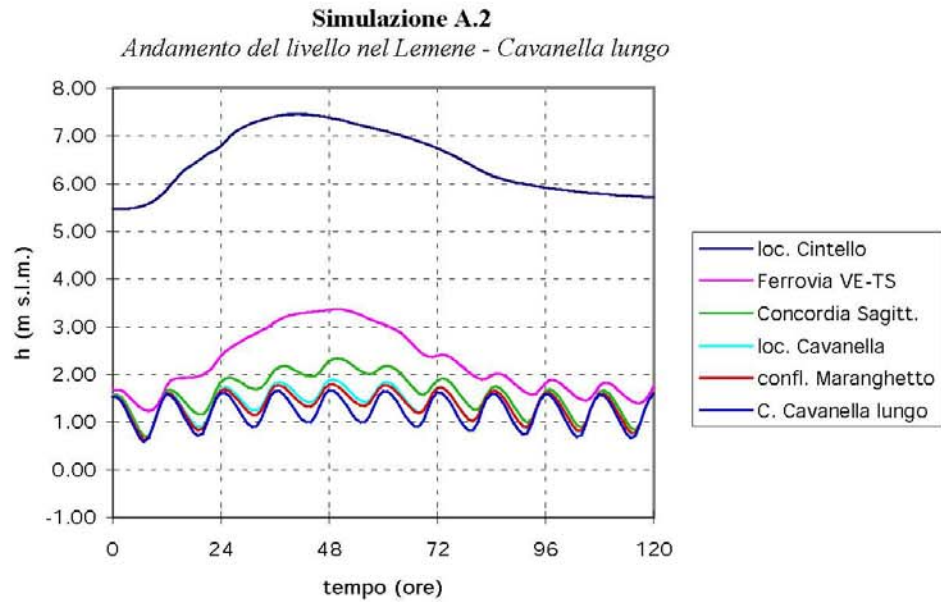


Fig. 4.14 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso A.2

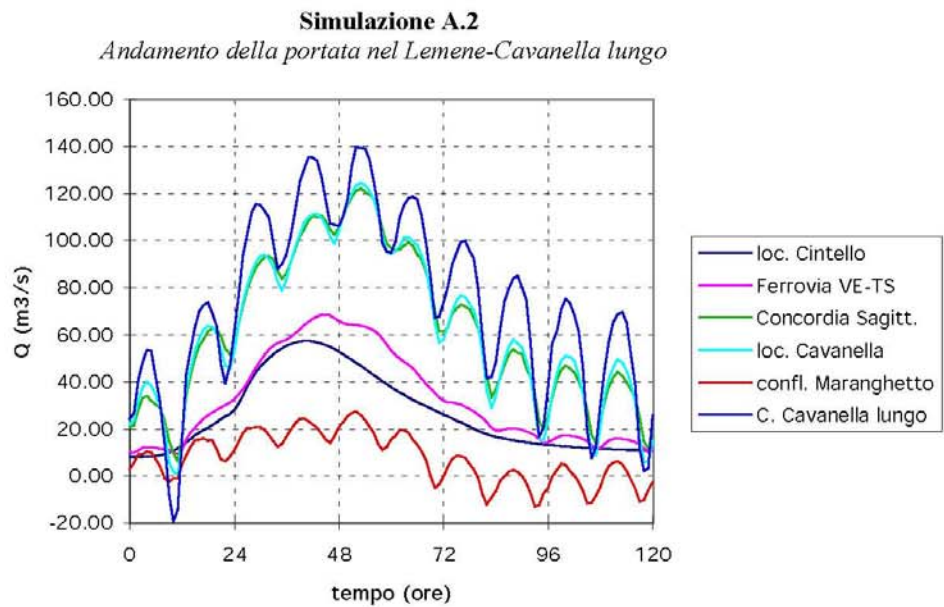


Fig. 4.15 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso A.2

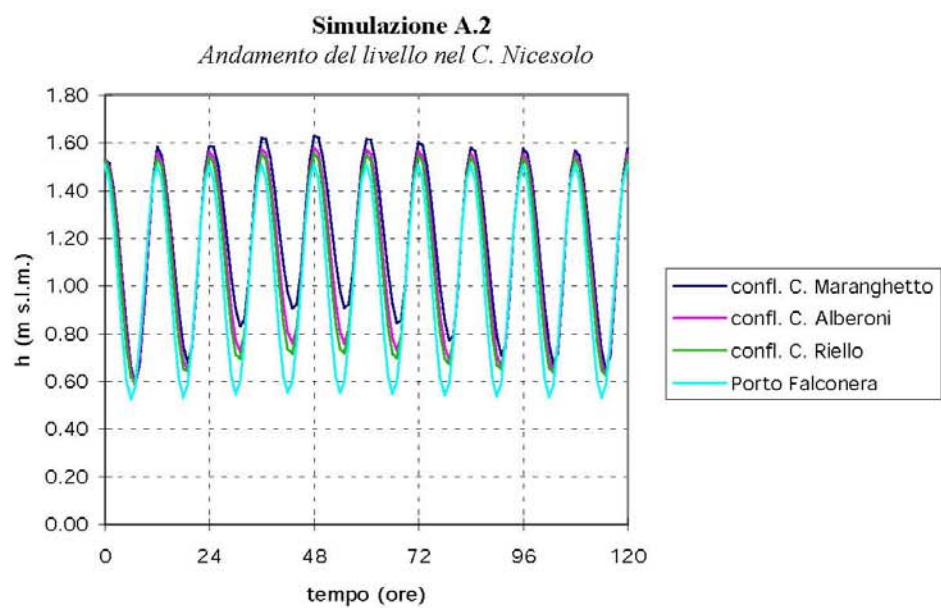


Fig. 4.16 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso A.2

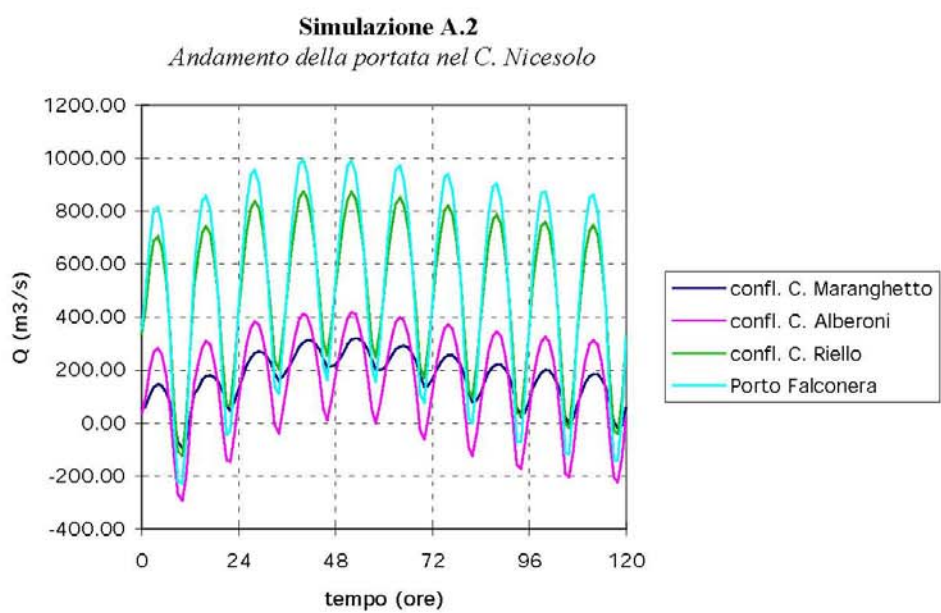


Fig. 4.17 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso A.2

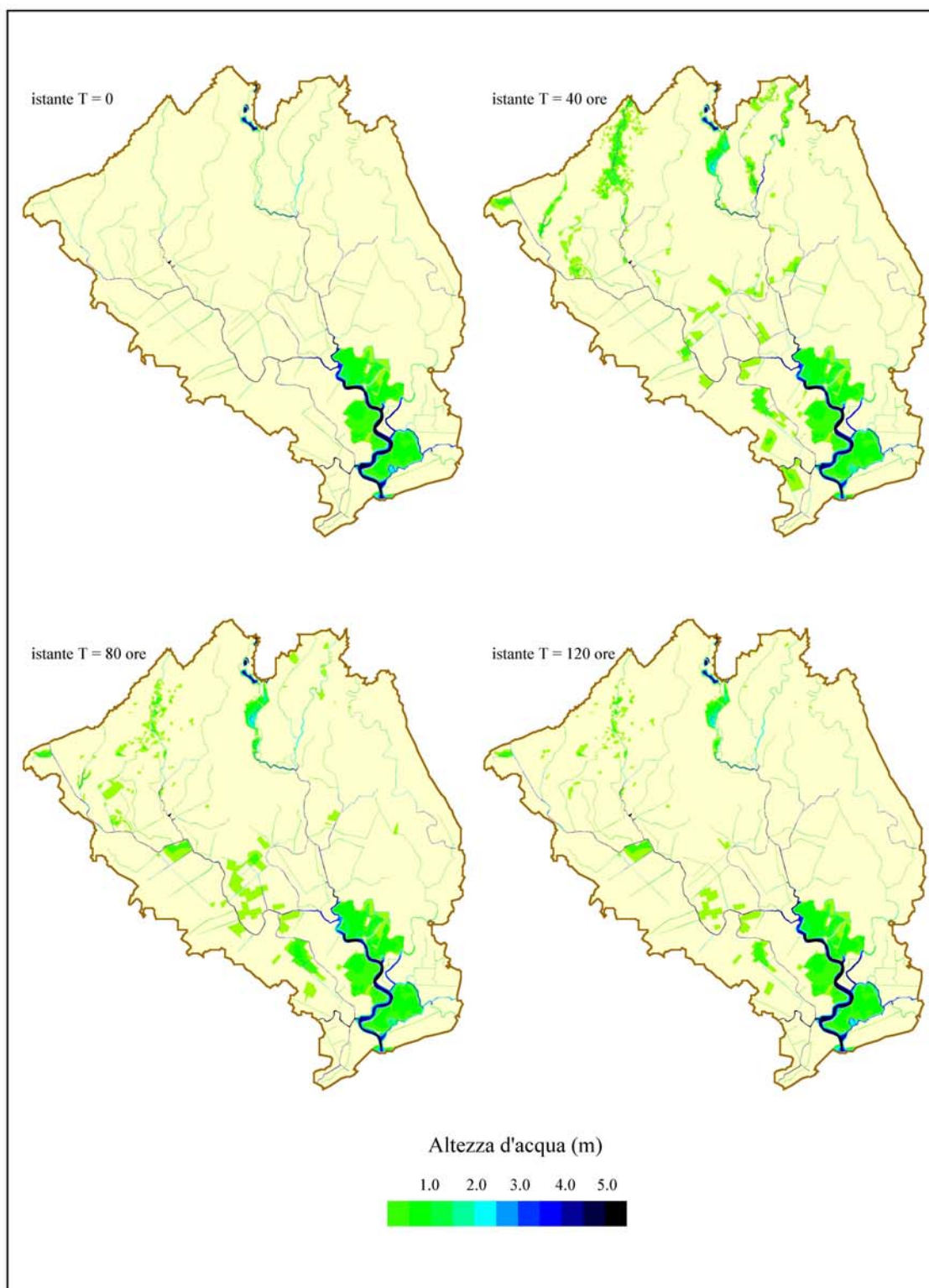


Fig. 4.18 - Bacino del Lemene. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 50$ anni (caso A.2).

La seconda immagine, relativa all'istante $T=40$ ore, mostra la diffusione di alcuni allagamenti nella parte alta del Loncon, del Reghena, della Roggia Versiola e del Lemene. Dai calcoli risulta infatti che tali corsi d'acqua, nel loro tratto iniziale privo di arginature, sono insufficienti per contenere le portate di massima piena previste nella simulazione.

A tale riguardo va detto che le notevoli incertezze sui dati geometrici delle sezioni dei corsi d'acqua principali che si sono incontrate nella fase di schematizzazione del bacino, non consentono di pervenire con i calcoli a valutazioni certe sull'insufficienza idraulica delle aste fluviali. In particolare per i tratti iniziali dei menzionati corsi d'acqua, che sono caratterizzati da una certa pendenza del fondo e sono sostanzialmente privi di arginature, i dati topografici sia sulla geometria delle sezioni, sia sulle quote dei terreni immediatamente adiacenti alle sponde sono largamente insufficienti per tali valutazioni.

Le modeste dimensioni delle sezioni che si deducono dai pochi dati disponibili, e la particolare conformazione morfologica dei territori attraversati da questi corsi d'acqua, altimetricamente più depressi rispetto alle campagne adiacenti, lasciano comunque presumere che non possano essere esclusi eventi di tracimazione come quelli segnalati dal modello. Dai calcoli risulta comunque che gli allagamenti restano confinati nelle immediate adiacenze dei corsi d'acqua stessi, e vengono anzi ricondotti negli alvei nelle fasi successive della piena per effetto delle pendenze dei terreni.

Sono particolarmente evidenti gli allagamenti che si verificano a ridosso del F. Reghena, alla confluenza con il Cao Maggiore in prossimità di località Segà. In tale zona, pur in mancanza di attendibili rilievi di dettaglio, la possibilità di allagamenti quando transitano portate elevate come quelle qui considerate sembra giustificata. Infatti da una parte il Cao Maggiore, che viene rigurgitato dai livelli del Reghena, possiede modeste arginature le cui quote sommitali sono più basse di quelle del Reghena stesso, dall'altra i terreni adiacenti risultano depressi e su di essi le acque che esondano tendono ad accumularsi con altezze anche rilevanti.

Nella parte del comprensorio a deflusso naturale il modello segnala alcuni significativi allagamenti anche in corrispondenza di corsi d'acqua minori. In particolare dai calcoli risultano critici i tratti terminali della Fossa Fosson, che confluisce nel Malgher immediatamente a valle del salto di Corbolone, e del Rio Fosson, che confluisce nello stesso Malgher pochi chilometri più a valle, all'altezza di S. Stino di Livenza. Nel primo caso gli allagamenti risultano provocati dai livelli elevati che si verificano nel collettore principale, i quali per effetto di rigurgito sostengono oltre il limite delle sommità spondali il profilo del pelo libero dell'affluente. Nel secondo caso gli allagamenti sono legati al funzionamento del manufatto a porte vinciane che presidia la confluenza, il quale nel corso della simulazione viene a chiudersi per evitare la fuoriuscita delle acque del Magher dall'alveo arginato, ma impedendo altresì il deflusso delle portate del Rio Fosson in arrivo da monte, con conseguente rialzo dei livelli di quest'ultimo e sormonto delle arginature.

Nella parte del bacino a scolo meccanico il modello segnala ulteriori allagamenti localizzati, legati all'insufficienza degli impianti idrovori rispetto alle portate in arrivo da monte.

Nella parte settentrionale del comprensorio, in particolare, risulta insufficiente il deflusso del canale che fa capo all'idrovora Tiepolo, anche in ragione dei già menzionati allagamenti del Cao Maggiore poco a monte, e di quello che fa capo all'idrovora Vidisè, che scarica le sue portate nel Malgher a valle di Lorenzaga.

Nelle parti centrale e meridionale del comprensorio allagamenti di un certo rilievo riguardano la parte settentrionale del Bacino delle Sette Sorelle, il collettore principale del bacino Casere e parte del bacino VI Presa. Nei primi due casi soprattutto le aree allagate raggiungono una

considerevole estensione e il successivo prosciugamento da parte della rete di drenaggio risulta alquanto lento.

Nella parte meridionale del comprensorio l'effetto più significativo della piena è però, come già evidenziato in precedenza, la tracimazione degli argini del Loncon nella tratta in prossimità dell'idrovora Lison II. Le portate che fuoriescono dall'alveo in questo caso sono, come si è visto, di entità relativamente modesta e pertanto da esse originano allagamenti non rilevanti che riguardano le campagne del Bacino Loncon, che fa capo all'idrovora omonima.

In generale, però, analizzando nei dettagli gli stati idrometrici massimi che si verificano nella rete dei canali arginati che fa capo alla laguna di Caorle, il modello segnala che esistono numerosi punti in cui il franco arginale si riduce al di sotto dei limiti di sicurezza. In base agli elementi raccolti dalla cartografia disponibile sembra in particolare che il vecchio corso del F. Lemene possa in alcuni tratti essere a rischio di tracimazione, poichè pur non convogliando portate significative è soggetto a stati idrometrici elevati perchè sostenuti dai livelli nel nodo di monte sul F. Loncon e il nodo di valle sul C. Nicesolo.

Tali eventualità meritano comunque attenzione particolare poichè non è improbabile che a seguito di carichi prolungati o di sormonti anche di lieve entità le arginature di questi corsi d'acqua possano cedere in qualche tratto innescando la formazione di brecce anche di grandi dimensioni dalle quali possono riversarsi nelle campagne adiacenti volumi d'acqua ben più significativi di quelli qui indicati dai calcoli. A tale riguardo nel seguito (par. 4.5.2) sono illustrati i risultati di una ulteriore simulazione in cui si è ipotizzato che, nel tratto del F. Loncon individuato come critico, a seguito del sormonto si abbia anche il cedimento di una porzione dell'arginatura.

Caso B - Simulazione di un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni

Condizioni al contorno

In questa seconda serie di simulazioni è stata presa in esame la propagazione di un evento di piena eccezionale ancor più gravoso del caso precedente, il cui tempo di ritorno può essere valutato in circa 100 anni.

Con riferimento alle elaborazioni idrologiche riportate nel paragrafo 4.3, gli idrogrammi di piena applicati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali risultano caratterizzati dai seguenti valori di portata iniziale e massima.

Corso d'acqua	Portata iniziale (permanente)	Portata massima (T_r = 100 anni)
Malgher	11 m ³ /s	115.6 m ³ /s
Loncon	4 m ³ /s	52.0 m ³ /s
Regghena	10 m ³ /s	70.1 m ³ /s
Lemene	8 m ³ /s	63.1 m ³ /s
Roggia Versiola	2 m ³ /s	16.1 m ³ /s

Gli idrogrammi di piena assegnati sui nodi dei corsi d'acqua della rete minore sono i medesimi del caso precedente, ottenuti utilizzando i valori massimi indicati in Tabella 4.4, e gli andamenti nel tempo illustrati nella Fig. 4.5.

Per quanto riguarda i nodi del contorno a mare in corrispondenza della foce di Falconera, si è ipotizzata un'alta marea eccezionale analoga a quella del precedente caso A.2, con valore massimo del livello idrometrico pari a 1.5 m s.l.m..

Infine, per quanto riguarda il contributo del C. Riello, che scarica parte delle portate di piena del F. Livenza nella foce del C. Nicesolo, si è ipotizzato anche in questo caso che esso sia costante e pari a 300 m³/s.

Anche in questo caso la durata complessiva della simulazione è stata assunta pari a 120 ore.

Con le condizioni descritte sono state condotte due diverse simulazioni (caso B.1 e B.2). Esse differiscono tra loro perchè nel secondo caso (caso B.2) si è ipotizzato che si verifichi anche il cedimento di un tratto dell'argine sinistro del C. Loncon.

Caso B.1 - Alta marea eccezionale

Con riferimento alla simulazione B.1 che prevede come condizione al contorno in mare un andamento di marea sinusoidale di ampiezza pari a 1.0 m oscillante attorno alla quota 1.0 m s.l.m., i risultati del calcolo relativamente alle medesime sezioni considerate nei casi precedenti sono riportati nelle seguenti Figure 4.19 ÷ 4.24.

La Fig. 4.19 illustra l'andamento del livello e della portata nelle 5 sezioni lungo il corso del Malgher - Loncon. Tali grafici possono essere messi a confronto con quelli del precedente caso A.2 (Fig. 4.12).

Con riferimento all'andamento dei livelli si osserva in primo luogo che i massimi che si stabiliscono nel canale Malgher nella sezione di monte, per effetto delle maggiori portate fluenti, si rialzano di circa 20 cm rispetto al caso precedente (circa 5.6 m s.l.m. contro 5.4 m s.l.m.). Le quote idrometriche massime non sembrano peraltro essere tali da mettere in crisi le sommità

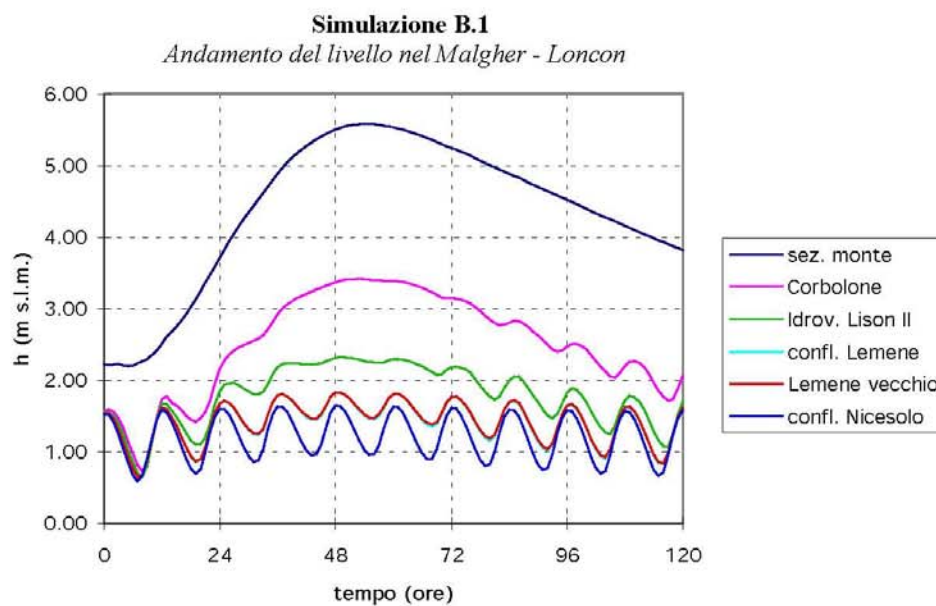


Fig. 4.19 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon
nella simulazione relativa al caso B.1

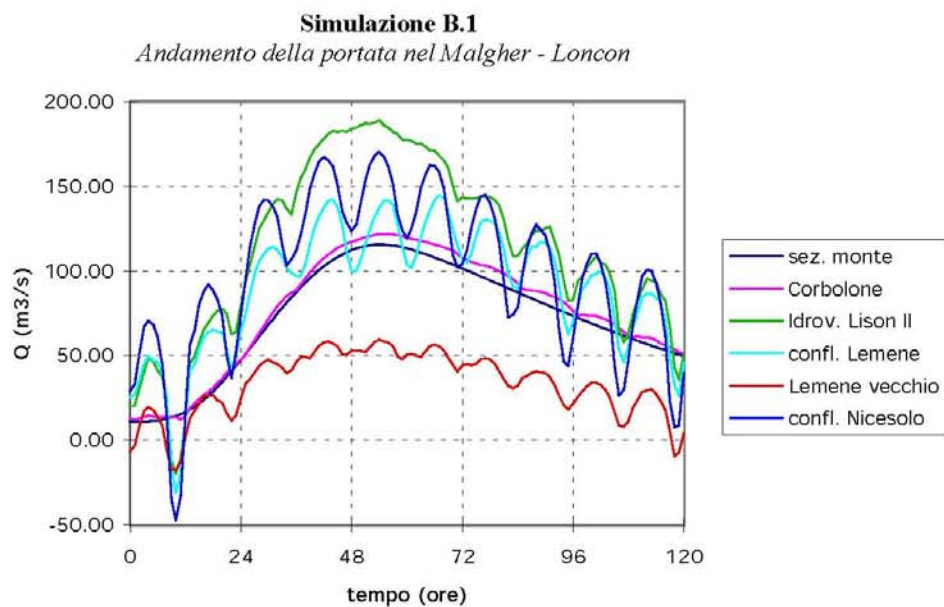


Fig. 4.20 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon
nella simulazione relativa al caso B.1

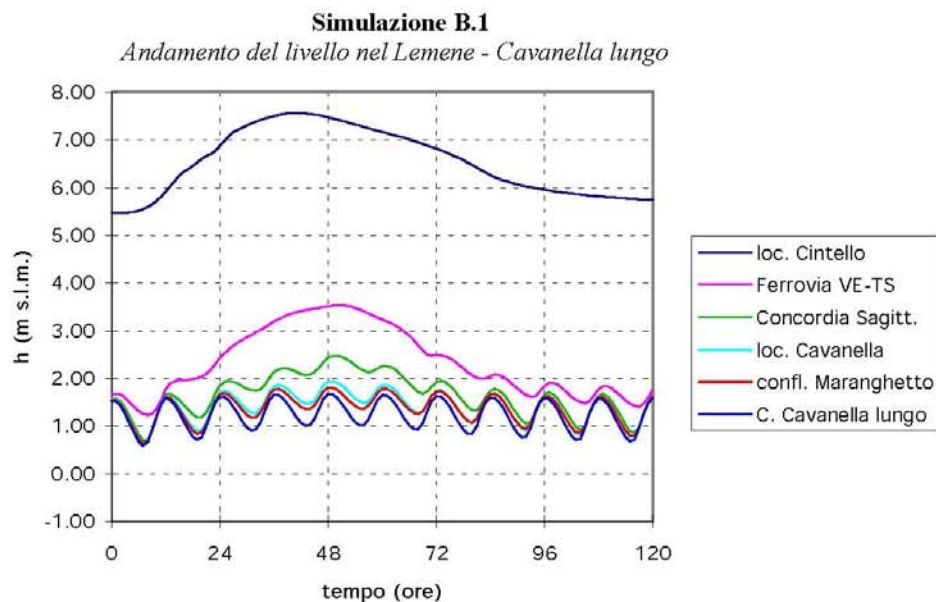


Fig. 4.21 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso B.1

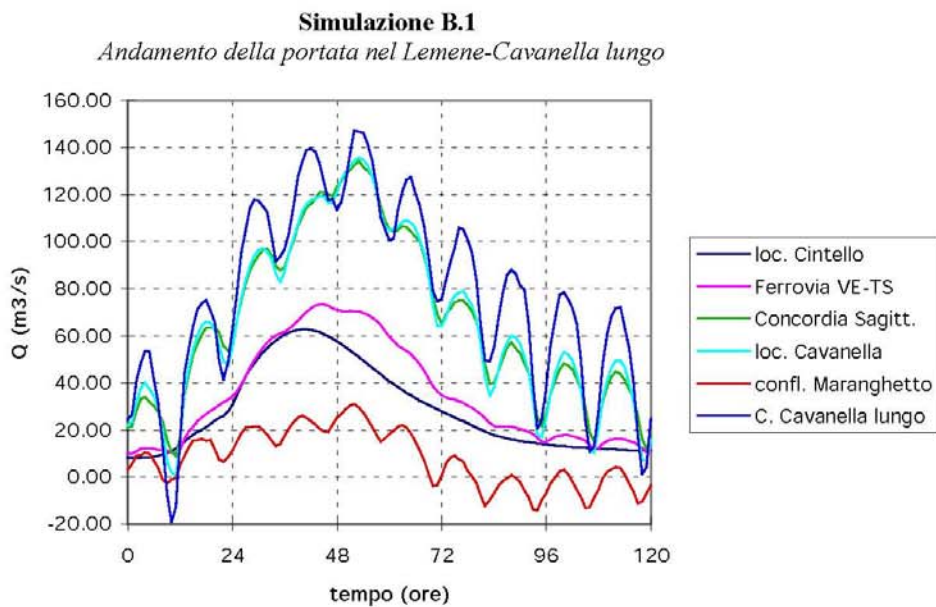


Fig. 4.22 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso B.1

arginali nel Malgher. Nel tratto che va dal limite del confine provinciale fino al salto di Corbolone, il franco rispetto alle sommità arginali risulta infatti sempre superiore ad 1 m.

Nella sezione collocata immediatamente a valle del salto di Corbolone l'incremento del livello massimo è di poco più di 10 cm (3.41 m s.l.m., a fronte di 3.29 m s.l.m. raggiunti nel caso A.2). L'incremento rispetto al tratto a monte del salto è ovviamente minore poichè in questo caso il profilo del pelo libero risente delle condizioni al contorno assegnate in mare, che sono le medesime del caso A.2.

E' interessante al riguardo osservare che i risultati ottenuti sono confrontabili con quelli riportati nello studio [13] condotto dal Consorzio Cellina Meduna, ottenuti integrando il profilo di moto permanente lungo il corso d'acqua a partire dalla foce per diverse portate. Per una portata complessiva di $130 \text{ m}^3/\text{s}$, ritenuta rappresentativa di un evento di piena con tempo di ritorno superiore a 100 anni, nello studio si ottiene a valle del salto una quota di 3.37 m s.l.m. per una marea alla foce di +1.0 m s.l.m., e di 3.73 m s.l.m. per una marea di +2.0 m s.l.m.. Per una portata di $90 \text{ m}^3/\text{s}$ le quote massime a valle del salto sono di 2.84 m s.l.m. per la marea di +1.0 m s.l.m., e di 3.25 m s.l.m. per la marea di +2.0 m.s.l.m.

Il dislivello generato dal salto, calcolato automaticamente nel modello grazie all'inserimento di un "tronco soglia", è leggermente inferiore a quello indicato in [13]. In tale studio infatti per una portata di $130 \text{ m}^3/\text{s}$, il dislivello tra le sezioni a monte e a valle del salto è pari a 1.23 m se la marea alla foce è di 1.0 m s.l.m. e pari a 0.88 m se la marea è pari a 2.0 m s.l.m.. Per la portata di $90 \text{ m}^3/\text{s}$ lo stesso dislivello è di 0.76 m per la marea a +1.0 m s.l.m. e di 0.48 m per la marea di +2.0 m s.l.m.. A loro volta i risultati del modello matematico forniscono, per il caso in esame B.2 (in cui la portata massima a Corbolone è di circa $116 \text{ m}^3/\text{s}$ e la marea alla foce arriva a +1.5 m s.l.m.), un dislivello, valutato al momento del passaggio della portata massima, di circa 65 cm.

I grafici relativi alle sezioni ubicate a valle del salto evidenziano modestissime variazioni rispetto ai risultati ottenuti nel precedente caso A.2, ad indicare che l'effetto dell'incremento della portata fluente risulta relativamente di minore importanza rispetto a quello dovuto alle condizioni di marea imposte alla foce.

La stessa considerazione vale per l'andamento delle portate (Fig. 4.20). In particolare si osserva che la portata massima all'altezza dell'idrovora Lison II raggiunge in questo caso i $186 \text{ m}^3/\text{s}$ contro i $176 \text{ m}^3/\text{s}$ del precedente caso A.2.

I successivi grafici delle Fig. 4.21 e 4.22, illustrano l'andamento dei livelli e delle portate calcolate, nelle ipotesi assunte, nelle sezioni lungo il F. Lemene e lungo il C. Cavanella Lungo già considerate nei casi precedenti.

Per quanto riguarda i livelli massimi (Fig. 4.21) si nota che in questo caso nelle sezioni poste più a monte (Cintello, Ferrovia VE-TS, Concordia Sagittaria) essi sono più elevati per solo 15 cm rispetto al caso precedente (Fig. 4.14). Nelle sezioni situate più a valle (Cavanella, confluenza con il Maranghetto, C. Cavanella lungo), tale differenza è di entità ancora inferiore per effetto della minore distanza dalla foce alla quale, come si è detto, le condizioni assegnate sono le medesime nei due casi.

Per quanto riguarda le portate, dal grafico di Fig. 4.22 si riscontra che la portata massima del Lemene a Cintello è di $63 \text{ m}^3/\text{s}$, di $73 \text{ m}^3/\text{s}$ all'altezza della ferrovia VE-TS, per effetto dell'immissione della Roggia Versiola, di $135 \text{ m}^3/\text{s}$ all'altezza di località Cavanella, principalmente per effetto dell'immissione del F. Reghena. La ripartizione delle portate tra il F. Lemene e il C. Cavanella lungo vede poco più di $30 \text{ m}^3/\text{s}$ fluire al massimo nel primo, e quasi $150 \text{ m}^3/\text{s}$ nel secondo.

Le Figg. 4.23 e 4.24 illustrano infine i risultati della simulazione per la parte terminale del sistema idraulico considerato, rappresentata dal C. Nicesolo.

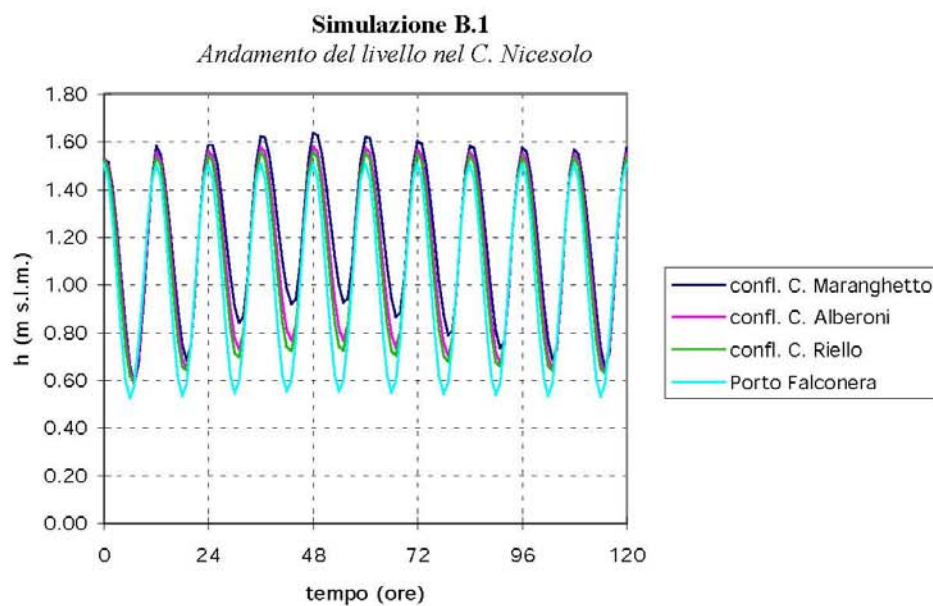


Fig. 4.23 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso B.1

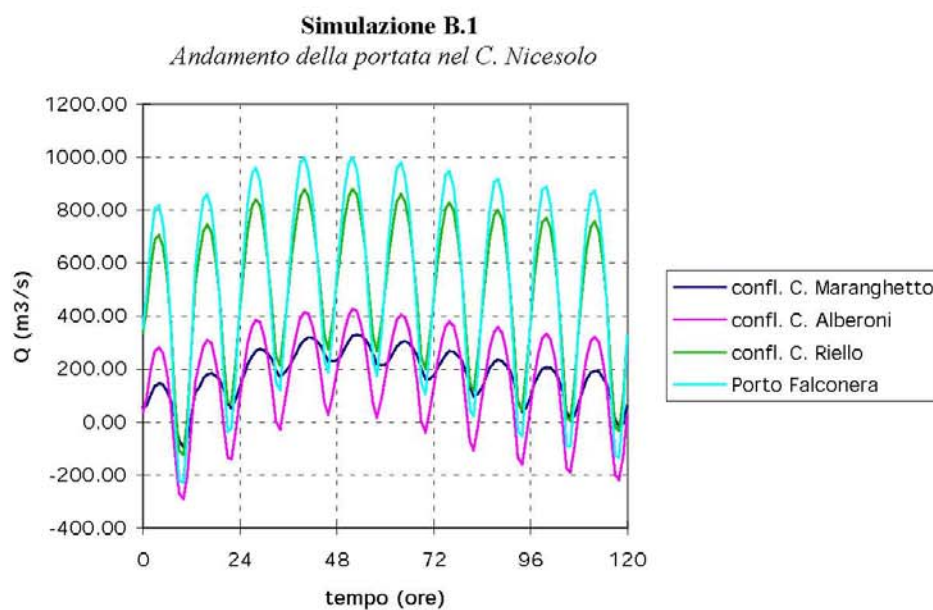


Fig. 4.24 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso B.1

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli (Fig. 4.23) il grafico mette in evidenza anche in questo caso che le quote idrometriche nel Nicesolo sono sostanzialmente controllate dalle escursioni del livello di marea. Il confronto con la Fig. 4.16 relativa al caso A.2, indica che le differenze tra i due casi sono di modesta rilevanza.

Per quanto riguarda le portate (Fig. 4.24) un leggero incremento dei valori massimi si riscontra solo per le sezioni più a monte tra quelle considerate (confluenza con C. Maranghetto e confluenza con C. Alberoni). Per le sezioni poste in prossimità della foce le variazioni sull'andamento delle portate fluenti rispetto al precedente caso A.2 sono quasi impercettibili.

Caso B.2 - Alta marea eccezionale e simulazione del cedimento di un tratto arginale del Loncon

In quest'ultima simulazione si è esaminato il caso in cui, nel momento del passaggio del colmo della piena, si verifichi il collasso di un tratto di arginatura del F. Loncon. Il tratto critico individuato è situato poco a valle della confluenza tra il C. Fosson e il F. Loncon, circa 1.5 km a monte dell'idrovora Lison II. In tale zona, come già messo in evidenza nei precedenti paragrafi, in occasione di piene di entità rilevante in concomitanza con livelli di marea sostenuti il franco arginale potrebbe ridursi anche fino al sormonto delle sommità arginali. In tale caso non è da escludere che al sormonto non segua, in un breve volgere di tempo, anche il collasso del corpo arginale con la formazione di una breccia di grandi dimensioni. Per simulare tale evento nel modello matematico si è ipotizzato che, a partire dall'istante $t=50$ ore, nel volgere di 1 ora si apra una breccia della lunghezza di 50 m e di 2 m di altezza lungo l'argine sinistro del Loncon. L'evento è schematizzato nel modello matematico mediante l'assegnazione di una predefinita legge temporale che descrive la variazione della quota di sommità del tratto arginale in questione.

Ad eccezione di questa ipotesi sul collasso arginale, tutte le altre condizioni al contorno assegnate sono le medesime del precedente caso B.1.

Per il Malgher - Loncon i risultati ottenuti, in termini di livelli e di portate sono riportati nelle Figg. 4.25 e 4.26. Confrontando tali grafici con quelli analoghi del caso precedente (Figg. 4.19 e 4.20) si possono mettere in evidenza gli effetti prodotti dalla formazione della breccia.

A monte del salto di Corbolone tali effetti sono pressochè trascurabili sia sui livelli che sulle portate. A valle, invece, il crollo dell'argine del Loncon modifica sostanzialmente l'andamento dei livelli anche a valle del tratto interessato, poichè a causa di tale evento a partire dall'istante $t=50$ ore le quote idrometriche si riducono considerevolmente. In particolare all'altezza dell'idrovora Lison II, situata, come si è detto, 1.5 km a valle della breccia, i livelli si abbassano di circa 60 cm.

Particolarmente evidente è l'effetto dell'esondazione sull'andamento delle portate. Dalla Fig. 4.26 si rileva infatti che, all'altezza dell'idrovora Lison II all'istante $t=50$ ore la portata fluente improvvisamente si riduce da circa $185 \text{ m}^3/\text{s}$ a circa $80 \text{ m}^3/\text{s}$, per poi seguire un andamento oscillante secondo la marea ma con valori medi praticamente ridotti della metà rispetto al caso precedente.

L'effetto della rotta risulta di minore entità sugli altri corsi d'acqua del sistema idrografico considerato.

Per quanto riguarda il Lemene (Figg. 4.27 e 4.28) l'effetto principale si traduce in una leggera diminuzione delle portate massime che fluiscono nel C. Cavanella Lungo e in un leggero aumento delle portate massime che invece fluiscono lungo il ramo originario del Lemene dopo la bipartizione a Cavanella. Tali variazioni sono peraltro contenute in meno di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto al precedente caso B.1. Quasi impercettibili risultano invece le differenze, sempre rispetto al caso B.1, sull'andamento dei livelli.

Anche per quanto riguarda il Nicesolo le variazioni sull'andamento dei livelli sono quasi impercettibili (Figg. 4.29 e 4.30). Per quanto riguarda le portate si osserva invece che, a partire dall'istante della rotta, le portate medie diminuiscono per effetto del minor contributo del sistema Malgher-Loncon. Poichè però nel Nicesolo l'entità delle portate fluenti risulta determinata, più che dagli apporti da monte, dall'alternarsi delle correnti di marea, la citata diminuzione delle portate, valutabile nell'ordine di qualche decina di m^3/s , non modifica più di tanto l'andamento complessivo.

L'effetto della rotta è messo in evidenza dalle immagini di Fig. 4.31, che riportano la distribuzione delle altezze d'acqua in alcuni istanti successivi della simulazione.

Mentre le prime due immagini (istanti $t=0$ e $t=40$ ore) non differiscono in misura apprezzabile da quelle relative al precedente caso A.2 (Fig. 4.18), le successive immagini relative agli istanti $t=80$ ore e $t=120$ ore mostrano la diffusione delle acque che esondano dalla breccia sull'argine del Loncon nelle campagne adiacenti. La progressione dell'allagamento è illustrata nel dettaglio dalla sequenza animata allegata in formato digitale su supporto magnetico. Si osserva che, a causa della pendenza dei terreni, le acque tendono ad invadere le campagne del bacino Lison II il cui impianto idrovoro non è in grado di smaltire le maggiori portate in arrivo con conseguenti tracimazioni del collettore principale anche nelle sezioni più a monte. Gli allagamenti tendono successivamente ad estendersi verso Sud-Est invadendo il territorio del bacino Loncon e sommergendolo quasi completamente con una lama d'acqua che, all'istante conclusivo della simulazione ($t=120$ ore) è superiore ad 1 m d'altezza su gran parte del territorio allagato. Dai calcoli risulta peraltro che l'allagamento non si estende verso Est perchè viene contenuto dalle arginature del F. Lemene, e non si estende nemmeno ai bacini adiacenti Bandoquerelle e Palù Grande i cui terreni sono posti a quote più elevate. Complessivamente le aree allagate dalle acque fuoriuscite dalla breccia ammontano a circa 2300 ha.

Analizzando gli andamenti delle portate nel F. Loncon a monte e a valle della tratta interessata dal cedimento dell'argine è possibile calcolare l'entità delle portate che fuoriescono dalla breccia e l'ammontare del loro volume complessivo. Si ricava che, nelle ipotesi assunte per il cedimento arginale, le portate uscenti valgono al massimo $160 \text{ m}^3/\text{s}$ all'istante $t=51$ ore ovvero subito dopo la formazione della breccia, ma sono ancora pari a circa $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (con ampie oscillazioni dovute all'andamento della marea) all'istante $t=120$ ore al termine della simulazione. Il volume complessivo fuoriuscito nelle 70 ore di esondazione è pari a $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Nella valutazione delle conseguenze di un evento ipotetico come quello qui considerato è importante anche tenere presente i tempi necessari per lo smaltimento delle acque dell'allagamento, che può avvenire per effetto del pompaggio degli impianti idrovori presenti. Nel caso in esame gli impianti idrovori Lison II e Loncon hanno una capacità massima, nel loro complesso, di $14.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando l'entità del volume d'acqua da smaltire, i tempi necessari possono essere valutati in prima approssimazione dividendo il volume complessivo esondato per la portate massima dei due impianti, ottenendo così una stima dell'ordine di 15 giorni.

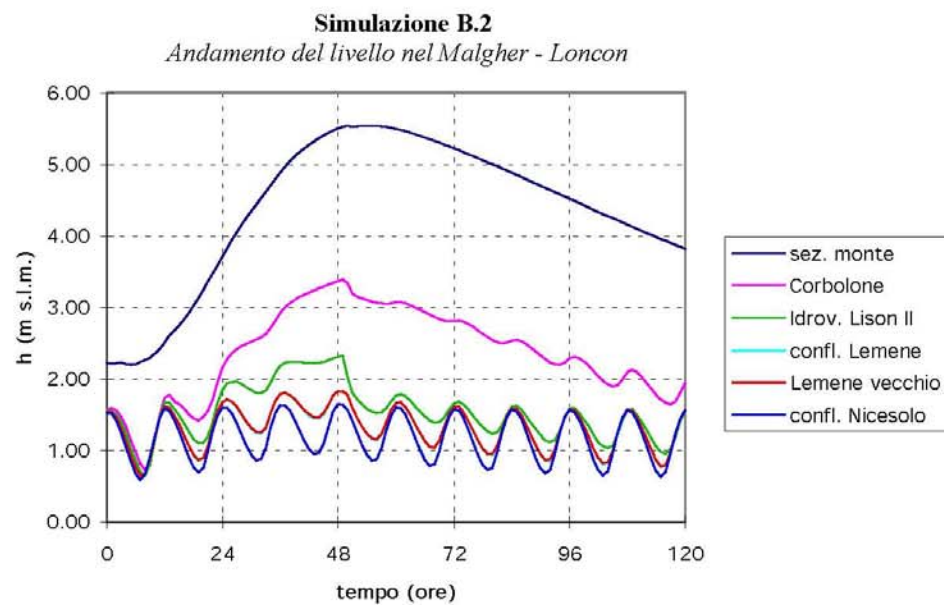


Fig. 4.25 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon
nella simulazione relativa al caso B.2

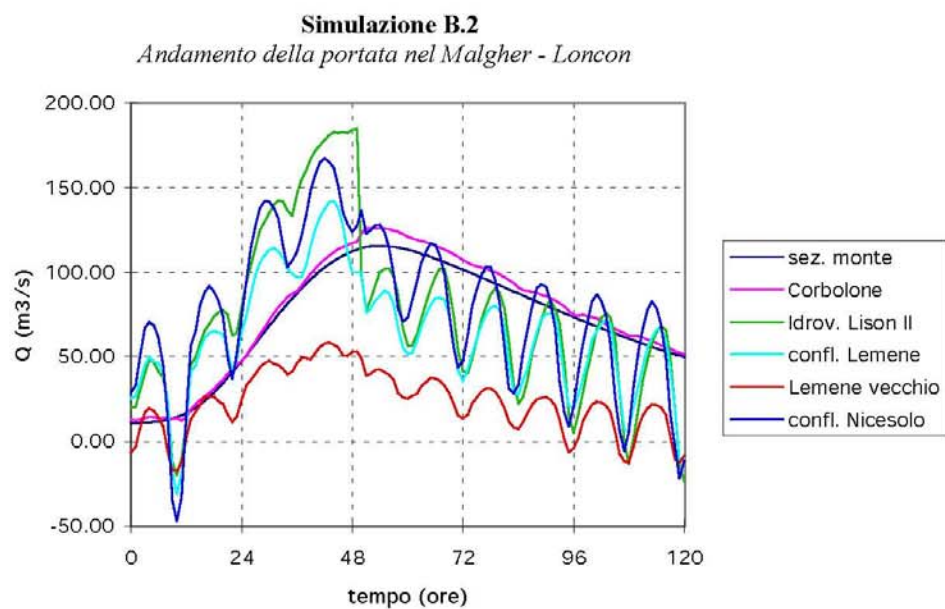


Fig. 4.26 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Malgher - Loncon
nella simulazione relativa al caso B.2

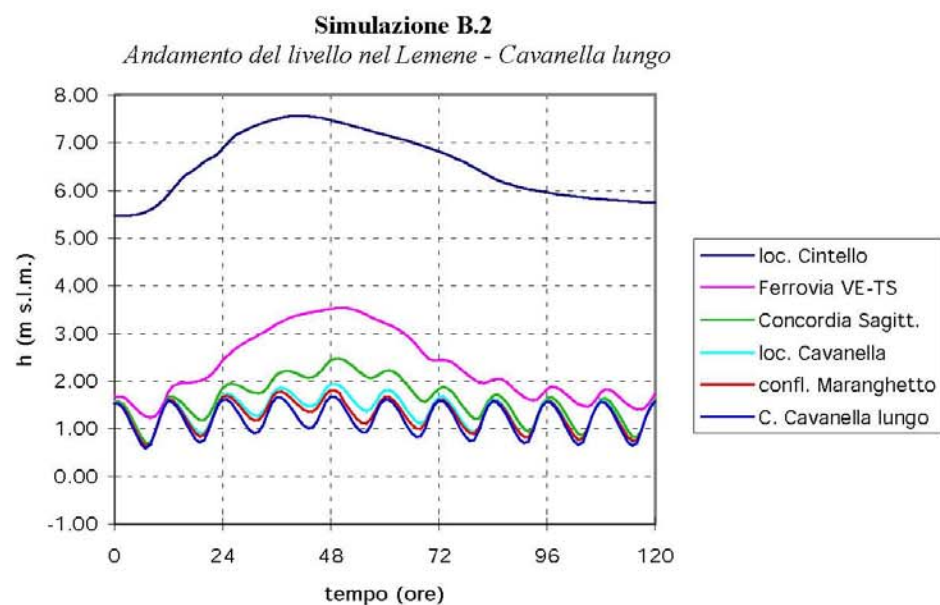


Fig. 4.27 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso B.2

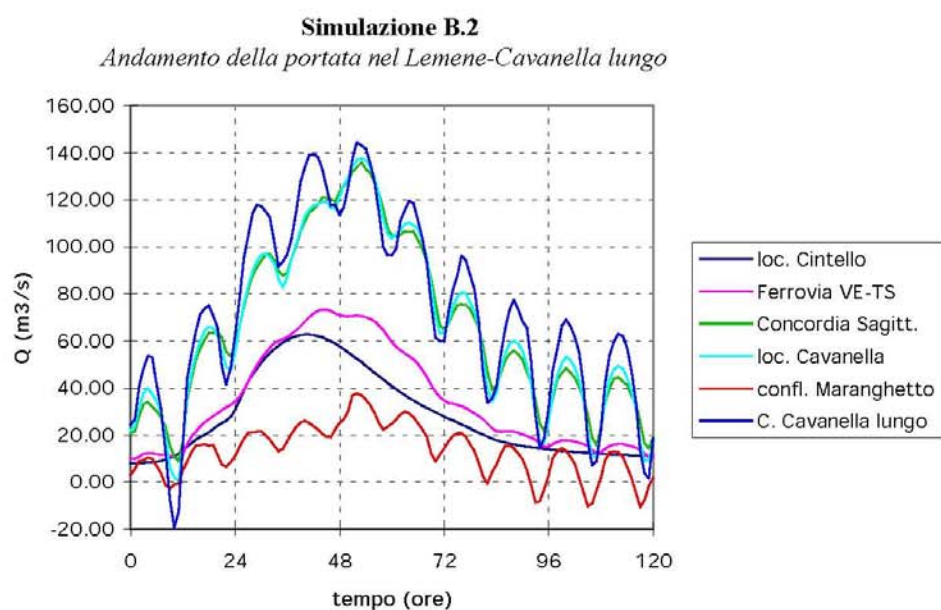


Fig. 4.28 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Lemene - C.Cavanella lungo nella simulazione relativa al caso B.2

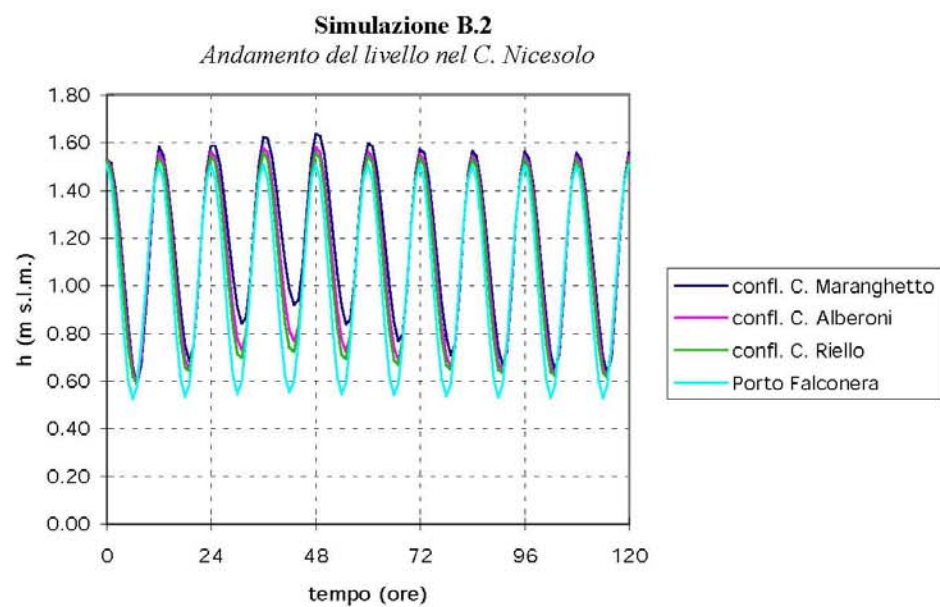


Fig. 4.29 - Andamento del livello in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso B.2

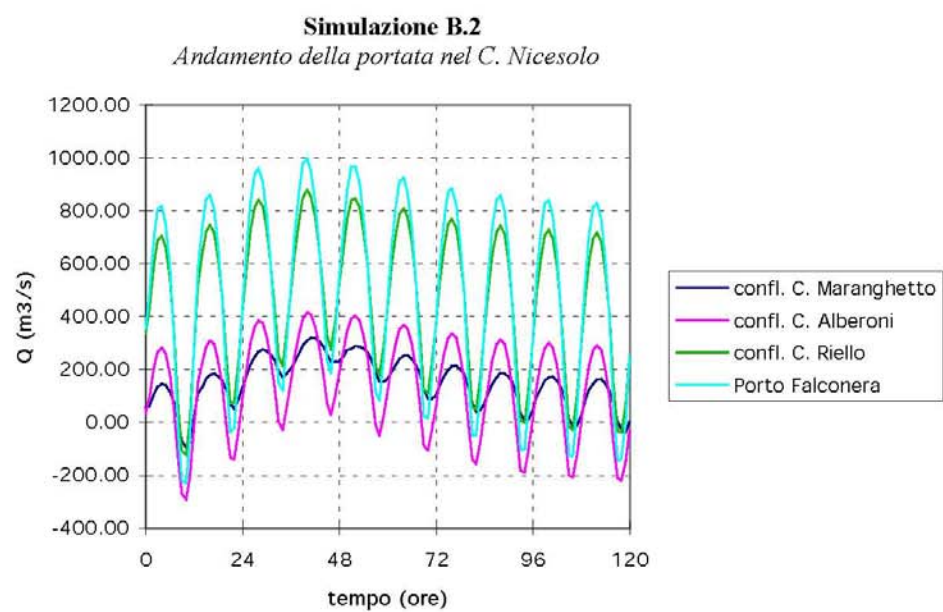


Fig. 4.30 - Andamento della portata in alcune sezioni del C. Nicesolo
nella simulazione relativa al caso B.2

4.6 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Le simulazioni condotte con il modello matematico uni-bidimensionale sul comportamento idraulico del F. Lemene e dei corsi d'acqua afferenti alla laguna di Caorle hanno consentito di esaminare il comportamento di questo sistema idraulico in occasione di eventi di piena di particolare gravità, al fine di verificare le attuali condizioni di rischio idraulico in cui si trova il territorio attraversato dai corsi d'acqua in questione.

L'analisi è risultata particolarmente articolata, da una parte per la complessità stessa del sistema idrografico, che nel territorio a monte è attraversato da 5 corsi d'acqua di entità rilevante, quali il C. Postumia - Malgher, il F. Loncon, il F. Reghena, il F. Lemene e la Roggia Versiola, ciascuno dei quali è alimentato da un proprio bacino idrografico e che nella parte terminale confluiscono e si ramificano formando la rete interconnessa dei canali della laguna di Caorle. Dall'altra perchè il regime idraulico di questi corsi d'acqua è influenzato anche dal contributo dei bacini della bonifica, che scaricano le loro portate di piena nelle stesse aste fluviali a mezzo di ben 38 impianti idrovori.

Il funzionamento idraulico del sistema risulta inoltre fortemente condizionato, soprattutto per quel che riguarda le quote idrometriche massime che si raggiungono al passaggio delle piene, dalle concomitanti condizioni di livello che si stabiliscono alla foce del Nicesolo presso Porto Falconera, essendo queste ultime legate all'andamento delle maree e delle mareggiate nell'Adriatico settentrionale.

L'impiego del modello matematico uni-bidimensionale ha consentito di estendere l'analisi al sistema nel suo complesso, esaminando situazioni ipotetiche caratterizzate dal simultaneo verificarsi di eventi idrologici significativi sia nei corsi d'acqua principali, sia nella rete della bonifica.

Non poche difficoltà si sono incontrate nella fase di schematizzazione della rete, per la già ricordata carenza di informazioni disponibili. Infatti, se da una parte esiste una ben organizzata base di dati sulla altimetria del territorio, sulla geometria dei corsi d'acqua e sulle caratteristiche dei manufatti idraulici della rete di bonifica, resa disponibile dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, risultano insufficienti, per gli scopi dell'indagine, i dati sulla geometria dei corsi d'acqua principali, dei quali esistono solo rilievi sporadici e generalmente non aggiornati. Non sono stati inoltre rinvenuti rilievi idrometrici e di portata, o dati significativi su eventi di piena del passato, che avrebbero consentito una prima taratura, seppur grossolana, del modello.

Pur con queste limitazioni, l'applicazione del modello matematico ha fornito utili indicazioni sul funzionamento della rete e su alcune possibili insufficienze che potrebbero verificarsi in caso di piene gravose.

Le prime simulazioni hanno esaminato un possibile evento di piena della durata di 120 ore, le cui portate al colmo possono ritenersi caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 50 anni. Per tale evento sono stati valutati gli idrogrammi di portata da assegnare come condizione al contorno sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali. E' stato simulato anche il contributo della rete della bonifica, che scarica nei collettori principali le portate derivanti delle piogge dirette al suolo. Tale contributo è stato valutato con riferimento ad un tempo di ritorno inferiore, pari a 30 anni. E' stato infine preso in considerazione anche l'effetto della marea alla foce del Nicesolo presso Porto Falconera, simulando la propagazione delle piene in presenza di una marea sinusoidale di ampiezza pari a 1 m oscillante attorno al livello medio del mare, che si può ritenere rappresentativa di un evento di sizigia.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza alcune insufficienze dei tratti di monte dei corsi d'acqua principali, il cui alveo si sviluppa a meandri su terreni a debole pendenza privi di

arginature. Per portate fluenti come quelle considerate il modello indica che potrebbero verificarsi delle tracimazioni di questi corsi d'acqua, anche se le acque esondanti tendono a restare contenute nelle immediate adiacenze degli alvei per rientrarvi successivamente, per le pendenze del terreno, durante la fase di esaurimento della piena. In particolare il modello segnala condizioni critiche alla confluenza tra il F. Reghena e il suo affluente Cao Maggiore all'altezza di località Segà, e nella parte terminale dei due affluenti del C. Malgher denominati Rio Fosson e Fossa Fosson. In questi casi le tracimazioni sono principalmente dovute agli elevati livelli idrometrici che si stabiliscono nei corsi d'acqua principali che ricevono questi affluenti e, per effetto di rigurgito, sostengono i livelli negli affluenti stessi oltre il limite della sommità delle sponde.

Nella parte meridionale del comprensorio i risultati ottenuti hanno messo in evidenza il ruolo predominante che la marea riveste sia sul regime dei livelli idrometrici, sia su quello delle portate fluenti. In particolare, anche in presenza di portate elevate come quelle considerate nelle simulazioni, i rischi di allagamento per tracimazione degli argini sono principalmente legati alle condizioni di marea che si realizzano alla foce.

A questo riguardo è stata condotta una simulazione ipotizzando che in concomitanza con il passaggio della piena alla foce si verifichino condizioni di eccezionale alta marea, con un livello massimo di +1.5 m s.l.m.. In tali ipotesi, e sempre con riferimento ad un evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, il modello indica che concreti rischi di tracimazione si possono verificare anche nella parte meridionale del comprensorio. Si segnalano in particolare quote idrometriche al limite delle sommità arginali lungo il Loncon all'altezza dell'idrovora Lison II, dove il modello indica anche possibili sormonti delle arginature, con conseguente allagamento delle campagne adiacenti. Altri tratti a rischio sono quelli del vecchio corso del F. Lemene, il quale, pur convogliando alla foce portate assai modeste, risente in occasione delle piene dei livelli sostenuti che si stabiliscono nel nodo di monte (F. Loncon) e in quello di valle (confluenza C. Nicesolo e C. Riello).

Un secondo gruppo di simulazioni ha preso in esame la propagazione nel sistema dei corsi d'acqua principali di una piena caratterizzata da un tempo di ritorno di 100 anni, restando invariate le altre condizioni al contorno ed in particolare il contributo al sistema fornito dalla rete di bonifica.

Anche in questo caso i risultati dei calcoli hanno messo in evidenza che l'evento di piena nel sistema idrografico può risultare critico se esso si accompagna a livelli di marea particolarmente elevati alla foce. In tale caso la sovrapposizione degli stati idrometrici dovuti alla marea con il sovrizzo generato dalle portate di piena in arrivo da monte può portare alla drastica riduzione del franco arginale, soprattutto lungo il corso del Loncon e nei tratti terminali dei corsi d'acqua che afferiscono alla laguna di Caorle (C. Maranghetto, F. Lemene, C. Cavanella Lungo, vecchio corso del Lemene), con pericolo di tracimazioni o comunque di cedimento delle arginature stesse.

Al riguardo è stata condotta una simulazione ipotizzando che, al momento del passaggio del colmo della piena, si verifichi il collasso di una delle arginature del Loncon, con la conseguente formazione di una breccia e l'esondazione delle acque. Il tratto critico è stato individuato immediatamente a valle della confluenza tra il C. Malgher - Fosson e il F. Loncon, in una zona in cui le simulazioni di cui si è precedentemente riferito avevano indicato possibili tracimazioni degli argini.

La simulazione ha consentito di visualizzare la propagazione delle acque esondanti sul territorio adiacente, individuando le vie preferenziali seguite dall'onda di sommersione che si

spaglia sul territorio, la sua velocità di avanzamento e l'altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui territori allagati.

Per la situazione esaminata l'allagamento sviluppatosi dalla breccia sull'argine sinistro del F. Loncon si estende rapidamente al bacino dell'idrovora Lison II e a quello dell'idrovora Loncon, sommergendoli quasi completamente con una lama d'acqua generalmente superiore ad 1 m d'altezza. L'evento risulta aggravato dal fatto che i territori adiacenti alla rotta hanno quote di circa 1 - 2 m inferiori rispetto al livello medio del mare e quindi se, come si è ipotizzato nella simulazione, si forma una breccia sufficientemente profonda, l'esondazione tende a prolungarsi anche dopo l'esaurimento della piena.

In conclusione le simulazioni condotte con il modello matematico hanno consentito di ottenere alcune significative indicazioni sul rischio di esondazione nei territori modellati. Le indagini avrebbero peraltro potuto portare a migliori e più completi risultati se si fosse potuto attingere ad una base di dati più consistente ed affidabile, soprattutto per quanto riguarda la geometria delle sezioni.

Si ritiene inoltre di rimarcare la mancanza di dati relativamente al regime idrologico ed idraulico dei corsi d'acqua principali del bacino, che sarebbero necessari per rendere sempre più efficace ed affidabile l'impiego di strumenti di calcolo come quello qui utilizzato.

In particolare sarebbe necessario disporre di sistematiche osservazioni idrometriche in alcune sezioni dei principali corsi d'acqua del sistema e di misure sperimentali sulle portate fluenti. La disponibilità di tali dati consentirebbe, da una parte di caratterizzare il regime di questi corsi d'acqua, per il quale ci si può solo riferire a studi ormai non più attuali e a valutazioni non supportate da adeguati riscontri sperimentali, dall'altra di procedere ad una vera e propria taratura del modello di calcolo, per verificare l'entità degli scarti fra i risultati delle simulazioni e le osservazioni reali, e conseguentemente stimare il grado di incertezza nelle valutazioni quantitative, relativamente a ipotetici scenari di crisi.

E' ancora più penalizzante inoltre, ai fini di indagini modellistiche come quella svolta in questo caso, la già ricordata carenza di dati sulla geometria delle sezioni dei corsi d'acqua e sulle quote delle sommità degli argini, riscontrata per tutti i corsi d'acqua principali del bacino.

E' quanto mai auspicabile che le Autorità preposte al governo del territorio provvedano quanto prima, sia a raccogliere ed organizzare i dati disponibili, sia ad integrarli con un adeguato numero di sezioni lungo i corsi d'acqua principali determinando contemporaneamente l'andamento del profilo delle sommità arginali, ponendo cura che ogni rilievo sia riferito e georeferenziato rispetto alla Carta Tecnica Regionale.

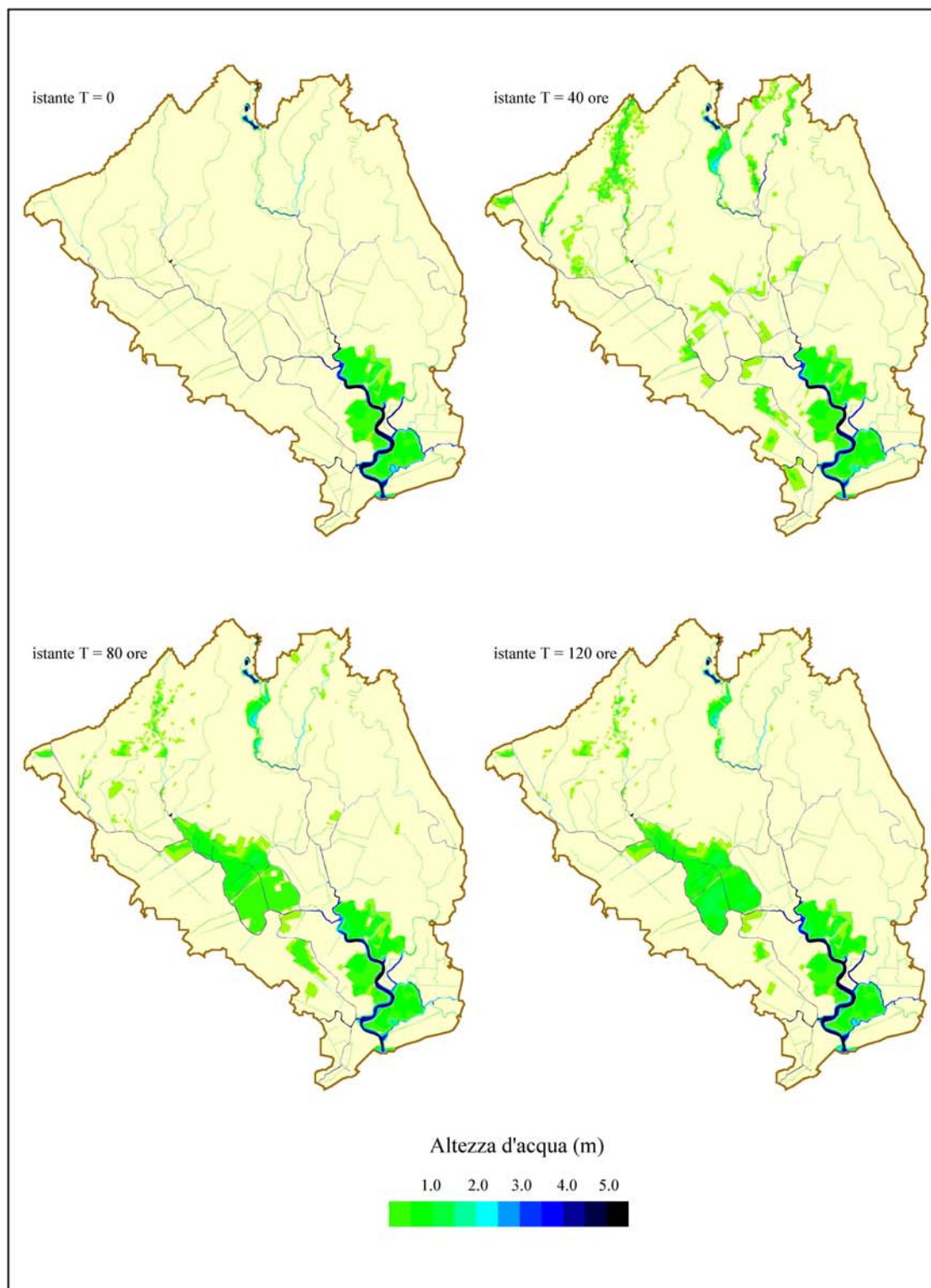


Fig. 4.31 - Bacino del Lemene. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $T_r = 100$ anni ipotizzando il cedimento di un tratto arginale del C. Loncon (caso B.2).

5. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL TRATTO TERMINALE DEL F. LIVENZA E AL TERRITORIO ADIACENTE

5.1 Caratteri idraulici del territorio

Il territorio indagato è rappresentato in modo schematico nella Fig. 5.1.

L'area considerata riguarda innanzitutto il corso del fiume Livenza compreso tra la località Motta e la foce nel mare Adriatico presso Porto S. Margherita; sono inclusi inoltre il sistema di canali costituito dal Riello e dal Nicesolo, che si estende tra la località Volta Garbin, dove si colloca l'incile del Riello, e Porto Falconera, dove il Nicesolo sfocia in mare, dai canali Piavon e Brian che fanno capo, tramite il Commessera navigabile, al Livenza stesso, e per ultimo dal canale Malgher.

La lunghezza complessiva del tratto di fiume Livenza considerato è di circa 46 km. La schematizzazione si estende inoltre al territorio adiacente al fiume: in destra idrografica, fino alle strade provinciali 53 e 58 nella parte settentrionale, fino al Canale Piavon e Brian nella parte centrale e fino alla strada provinciale 54 nella parte meridionale; in sinistra idrografica, invece, fino al canale Loncon nella parte centro settentrionale e fino al canale Lemene e Nicesolo nella parte meridionale. E' in tal modo considerato tutto il territorio compreso all'interno della provincia di Venezia che si è ritenuto potenzialmente allagabile da eventuali esondazioni o rotte lungo l'argine destro e sinistro del Livenza.

Complessivamente l'area esaminata si estende per oltre 230 km².

Il territorio, per quanto riguarda gli aspetti della bonifica idraulica, ricade sia nei limiti di competenza del Consorzio di Bonifica Basso Piave, con sede a San Donà di Piave, sia nei limiti del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, con sede a Portogruaro.

Dal punto di vista altimetrico l'area è per lo più pianeggiante con quote del terreno particolarmente depresse essendo in qualche zona inferiori a -2.0 m s.l.m.. Lo smaltimento delle acque meteoriche, pertanto, avviene a mezzo di una serie di impianti idrovori gestiti dai Consorzi, che scaricano i contributi della rete dei canali di bonifica nei corsi d'acqua principali (C. Brian, C. Piavon, C. Livenza Morta, C. Malgher).

Le situazioni di rischio idraulico nel comprensorio considerato sono principalmente legate al comportamento del Livenza in occasione di eventi di piena eccezionali.

Infatti, nonostante nei primi anni del 1990 siano stati realizzati degli interventi di ricalibratura dell'alveo di magra e di sistemazione delle arginature, la capacità di portata del tratto terminale del fiume può risultare insufficiente, come verrà meglio evidenziato dai risultati delle simulazioni riportati nei paragrafi successivi, nel caso di eventi di piena particolarmente gravosi.

Dall'esame dei dati reperiti negli studi pregressi sul comportamento del tratto terminale del F. Livenza in condizioni di piena ed in particolare nell'indagine condotta nell'ambito degli "Studi finalizzati alla redazione del piano di bacino del fiume Livenza - Sicurezza idraulica - Aste principali" dall'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione [14], è emerso in particolare che, soprattutto in due tratte, all'altezza di Cessalto e tra S. Anastasio e Biverone, il Livenza non è in grado di contenere il passaggio di onde di piena eccezionali, caratterizzate da tempi di ritorno dell'ordine di 100 anni.

Nello stesso studio [14] si è potuto verificare, inoltre, che anche l'aver previsto ad uso di laminazione delle piene i serbatoi elettro-irrigui esistenti nei bacini montani del Cellina e del Meduna non è sufficiente a far sì che il tratto terminale dell'asta fluviale sia in grado di contenere eventi così gravosi. Nel presente studio si è comunque fatto in ogni caso riferimento a

situazioni che non prevedono una riduzione dei colmi di piena per effetto degli invasi disponibili nei serbatoi.

Dal momento che per gli eventi di piena considerati sono state evidenziate, per alcuni tratti del corso del fiume, situazioni critiche con riferimento al possibile sormonto delle sommità arginali, si é analizzato con il modello anche l'effetto di una ipotetica rotta in uno di questi tratti. Tali simulazioni hanno lo scopo di evidenziare le conseguenze dell'esondazione sul territorio adiacente valutando l'estensione dei territori allagati e, di conseguenza, individuando i centri abitati a maggior rischio.

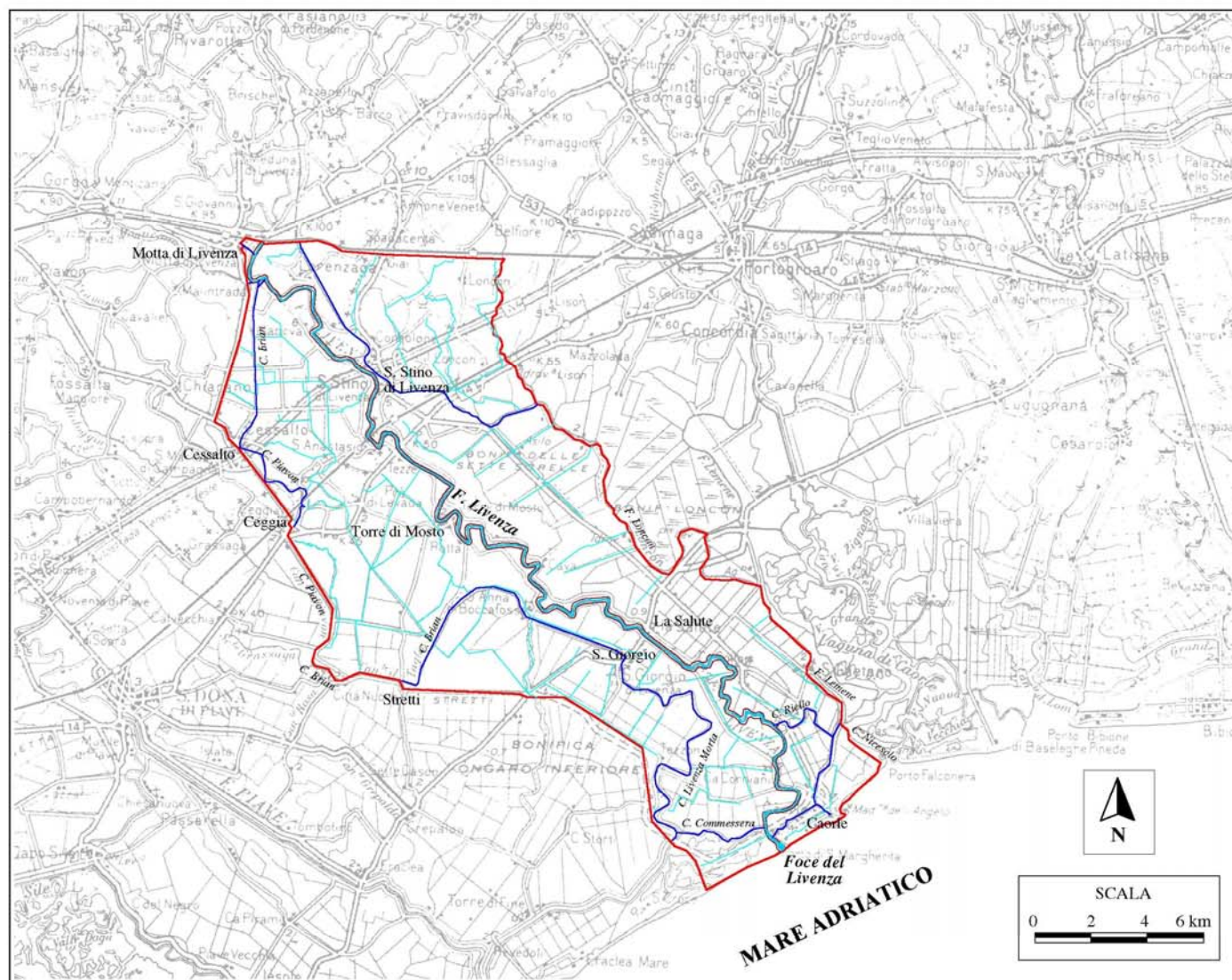


Fig. 5.1 - Corografia del tratto terminale del Fiume Livenza e del territorio ad esso adiacente considerato nell'indagine.

5.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

La schematizzazione del modello matematico uni-bidimensionale è stata costruita utilizzando come base la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

La cartografia regionale è stata utilizzata in formato raster per digitalizzare l'andamento planimetrico dei contorni e di tutti quegli elementi morfologici (corsi d'acqua, argini, rilevati stradali o ferroviari, ubicazione dei manufatti e delle opere idrauliche, ecc.) utili per una corretta rappresentazione del fenomeno indagato, in particolare dell'eventuale esondazione delle acque del Livenza in piena sul territorio circostante.

L'altimetria del territorio è stata ricostruita utilizzando sia la cartografia messa a disposizione dal Consorzio di Bonifica Basso Piave e dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, sia gli elaborati della Carta Tecnica Regionale Numerica, resi disponibili dall'Amministrazione Provinciale.

In particolare questi ultimi elementi cartografici numerici, hanno consentito di elaborare un piano quotato sufficientemente dettagliato di tutta l'area di indagine, utile al fine di assegnare automaticamente le quote altimetriche agli elementi della schematizzazione numerica del reticolo di calcolo del modello.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle sezioni del Livenza, si è fatto riferimento ai dati contenuti nel già citato studio condotto per conto dell'Autorità di Bacino [14]. In tale indagine sono riportate le caratteristiche geometriche principali delle 83 sezioni che coprono l'estesa da Motta fino alla foce, indicate in tabella 5.1 (distanza progressiva, quota di thalweg, quote delle sommità arginali in destra e in sinistra). Tali dati tengono conto anche dei già citati interventi realizzati nei primi anni '90 a cura del Magistrato alle Acque di Venezia, per la ricalibratura dell'alveo e per la sistemazione delle arginature nel tratto compreso tra La Salute di Livenza e Volta Grimana.

Nello stesso studio sono riportati anche tutti gli altri elementi utilizzati per la schematizzazione del corso del Livenza con il modello matematico unidimensionale impiegato in quel caso (in particolare la larghezza e la quota delle diverse sottosezioni che compongono l'alveo).

Per mettere a punto la schematizzazione del corso d'acqua con il modello uni-bidimensionale impiegato in questo caso si è fatto riferimento all'insieme di tutti questi dati, ricorrendo a procedure di interpolazione per assegnare i dati mancanti.

E' opportuno far rilevare che, pur essendo assai significativa la citata base topografica di riferimento, essa risulta carente per il tratto compreso tra Motta di Livenza (progr. 0 km) e S. Stino di Livenza (progr. 9.05 km) dove le caratteristiche geometriche sono descritte con poche sezioni.

La seguente Fig. 5.2 riporta schematicamente gli elementi geografici, morfologici ed idraulici utilizzati per la rappresentazione del comprensorio con il modello matematico. Tutti gli elementi morfologici sono riportati nell'allegato elaborato Tav. 3, in scala 1:50.000.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione del sistema, sono stati assunti dopo alcune simulazioni preliminari in modo da riprodurre al meglio gli andamenti dei livelli misurati nelle stazioni idrometriche prese a riferimento, come viene descritto nel successivo paragrafo 5.3.

In definitiva si è adottato per il fiume Livenza un coefficiente di scabrezza k_s secondo Strickler di $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le zone d'alveo e di $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree golenali.

Per descrivere gli effetti delle resistenze idrauliche nella rete idrografica minore e sul territorio potenzialmente allagabile, dove non esistono gli elementi necessari per condurre una

taratura del modello, si sono assunti valori dei coefficienti di scabrezza ricavati sulla base di precedenti esperienze analoghe. Tali valori sono variabili tra $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali, pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi in rilevato (strade, ferrovie, rilevati) e a $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per la restante parte del territorio (campagne, centri abitati).

Lungo il corso del Livenza gli effetti delle perdite di carico localizzate, dovute ad eventuali ostacoli, restringimenti ed altro, sono stati descritti conglobando tali fenomeni in quelli della resistenza continua come è del resto usuale in problemi di questo tipo, nei quali si vogliono cogliere non tanto gli effetti locali quanto piuttosto gli effetti generali introdotti dalla presenza di eventuali singolarità.

E' comunque da evidenziare l'importanza che assume, soprattutto per simulazioni con portate al limite della capacità dell'alveo, la corretta individuazione dei coefficienti di scabrezza lungo il tratto arginato del Livenza, poichè da tali parametri dipendono i valori delle altezze idrometriche massime calcolate. Una stima più precisa dei coefficienti di scabrezza potrebbe essere ottenuta se fossero disponibili, come sarebbe auspicabile, misure contemporanee di livello e di portata in qualche sezione del tratto fluviale in questione.

Per quanto riguarda la rete minore e la rete di bonifica, i dati necessari per la schematizzazione dei canali sono stati forniti, come si è detto, dal Consorzio Pianura Veneta e dal Consorzio Basso Piave; tali dati sono stati tratti dagli elaborati del Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale.

In particolare sono stati inseriti, per ciascun tronco di canale, la quota del fondo, la larghezza in cunetta e la pendenza delle sponde, in modo tale da descriverne il comportamento idraulico mediante gli elementi unidimensionali inseriti nel modello.

Il Consorzio Basso Piave ha poi fornito i dati necessari per la schematizzazione dei canali Derivatore, Piavon, Brian e Commessera. Il Consorzio Pianura Veneta ha fornito invece, come già evidenziato nel precedente capitolo relativo al modello matematico del bacino del Lemene, numerosi elementi utili alla schematizzazione del C. Riello e del Nicesolo.

Di alcuni tratti di canale non è stato possibile reperire alcun attendibile dato di riferimento. Per tali elementi la schematizzazione è stata effettuata utilizzando gli elementi ricavati dalla CTR.

Sempre dai menzionati Consorzi di Bonifica sono state poi fornite le caratteristiche di funzionamento degli impianti idrovori presenti sul territorio, che sono stati inseriti nella schematizzazione in base agli elementi sintetizzati nella tabella Tab. 5.2.

Impianto	posizione		portata (l/s)	quote (l.m.)	
	coord. E	coord. N		tacco	stacco
Villanova	2334834	5067109	3200	-0.8	-1.1
Donegal	2336607	5063317	10600	-0.4	-1.0
Pace	2338488	5056926	13500	-2.4	-3.3
Staffolo	2341083	5057958	10500	-2.4	-3.1
Boccafossa	2344242	5059174	3400	-1.9	-2.3
Cao Mozzo	2348216	5056292	1400	-2.2	-2.8
Termine	2349024	5051958	26000	-2.5	-3.4
Vidisé	2336394	5071930	800	2.8	2.45
S.Osvaldo suss	2341542	5066797	4320	-1.4	-1.7
S.Osvaldo princ	2344104	5066133	8000	-2.1	-3.6
Sette Sorelle suss	2345352	5065694	3000	2.75	-3.7
Sette Sorelle princ	2346646	5064827	9000	-3.0	-4.0
Piva	2348036	5061909	2000	-3.0	-4.0
Bigai	2348235	5061298	2000	-3.0	-4.0

Veronese	2349177	5060352	4000	-3.0	-4.0
Casere	2353027	5058960	6000	-3.1	-4.0
Ottava Presa	2354195	5055161	4150	2.35	-2.9
Palangon	2355213	5053599	6900	-2.3	-3.5
Ponte Saetta	2354601	5052393	2650	-1.8	-2.4
Orologio	2354895	5051976	4900	1.85	-2.5

Tabella 5.2 - Caratteristiche degli impianti idrovori inseriti nella schematizzazione.

Sommando le portate massime degli impianti, risulta che le idrovore ubicate nel comprensorio esaminato sono complessivamente in grado di scaricare circa 126 m³/s.

La Fig. 5.3 illustra il reticolo di calcolo ad elementi finiti utilizzato nel modello, che complessivamente è costituito da 9356 nodi, 14890 elementi bidimensionali triangolari, da 765 elementi unidimensionali e 990 tronchi speciali. Questi ultimi in particolare consentono di rappresentare l'eventuale fenomeno del sormonto delle arginature del F. Livenza e degli altri corsi d'acqua arginati, in modo da descrivere questi fenomeni, dal punto di vista idraulico, come condizioni interne al modello. Gli elementi bidimensionali, invece, sono stati utilizzati anche per schematizzare i rilevati stradali, quelli ferroviari ed i rilevati minori.

La stessa figura è rappresentata alla scala 1:50.000 nella allegata Tav. 4. Nella tavola sono evidenziati anche i nodi in corrispondenza dei quali sono state introdotti i dispositivi che schematizzano il funzionamento degli impianti idrovori, e i nodi in cui sono state assegnate le condizioni al contorno per le simulazioni.

In questo caso non sono stati considerati per il territorio servito dalla bonifica i contributi diretti delle precipitazioni al suolo, poichè l'indagine è principalmente volta ad analizzare gli effetti di eventuali condizioni di rischio idraulico causate dal F. Livenza e tali contributi sono, come è ovvio, di un ordine di grandezza inferiore a quelli che si possono verificare per eventuale tracimazione del fiume maggiore. E' ovvio peraltro che lo schema che modella il territorio della bonifica potrebbe, senza particolari maggiori oneri computazionali, essere adattato in una fase successiva anche per esaminare situazioni locali di allagamento prodotte da insufficienze della rete formata dai canali della bonifica stessa. Ciò detto restano comunque significativi anche per le aree della bonifica gli stati di sofferenza e i tempi di sommersione dei terreni risultanti dalle indagini, nell'ipotesi che alla rete dei canali minori e agli impianti idrovori esistenti sia affidato il compito di prosciugare le aree eventualmente sommerse dalle esondazioni.

La successiva Fig. 5.4 rappresenta la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. La rappresentazione a scala di colori mostra come la parte di monte del comprensorio, all'incirca fino alla linea della ferrovia Venezia - Trieste, sia caratterizzata da una certa pendenza, nella direzione del corso del Livenza. Più a valle l'altimetria è sostanzialmente uniforme, con quote generalmente inferiori al livello medio del mare. In particolare nei terreni della bonifica si possono individuare alcune ampie depressioni in cui le quote del terreno sono inferiori a -2 m s.l.m.



Fig. 5.2 - Bacino del Livenza. Schematizzazione del territorio considerato nell'indagine

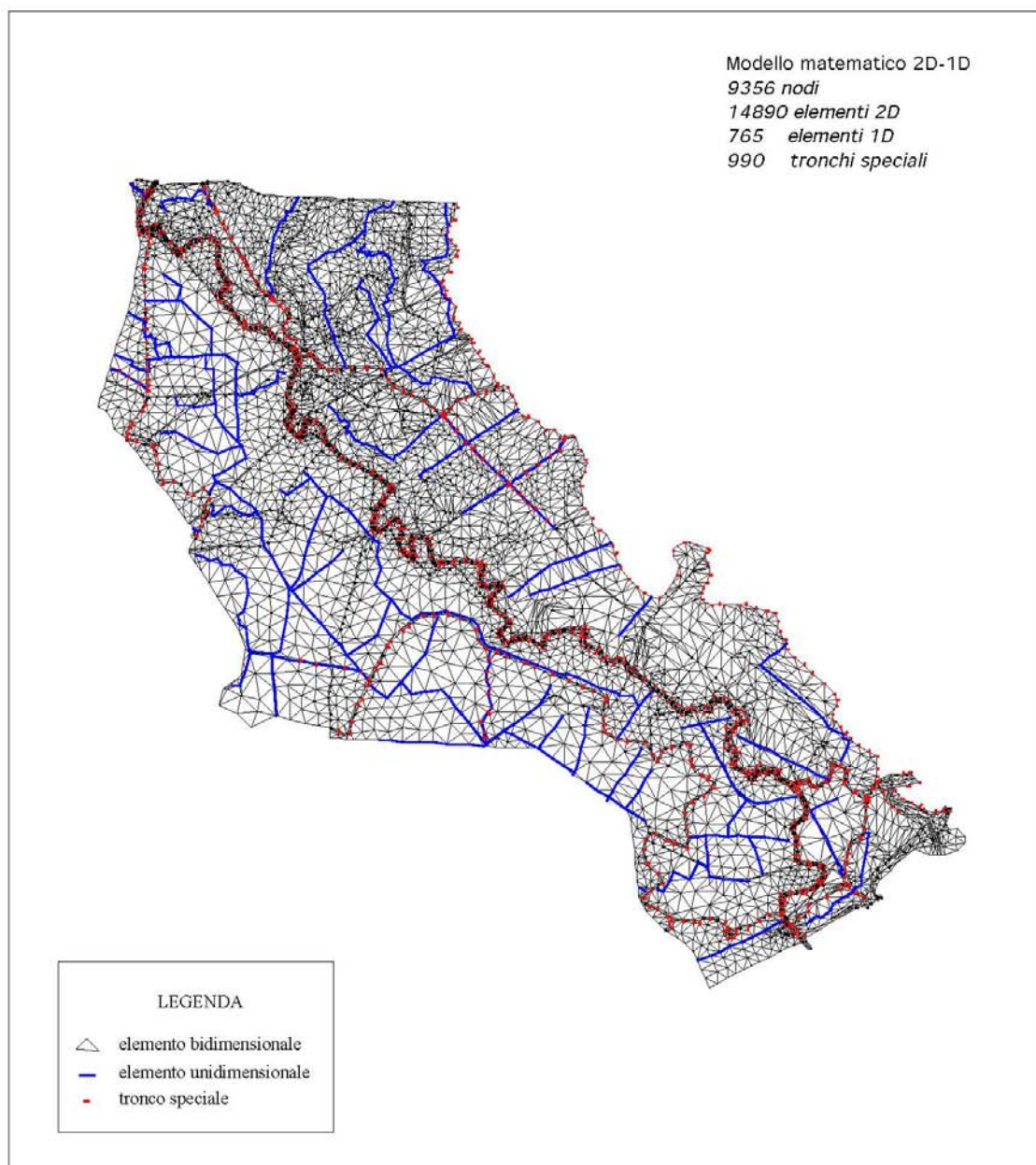


Fig. 5.3 - Modello matematico uni-bidimensionale del corso terminale del F. Livenza e dei territori ad esso adiacenti. Schematizzazione del territorio con il reticolo di calcolo.

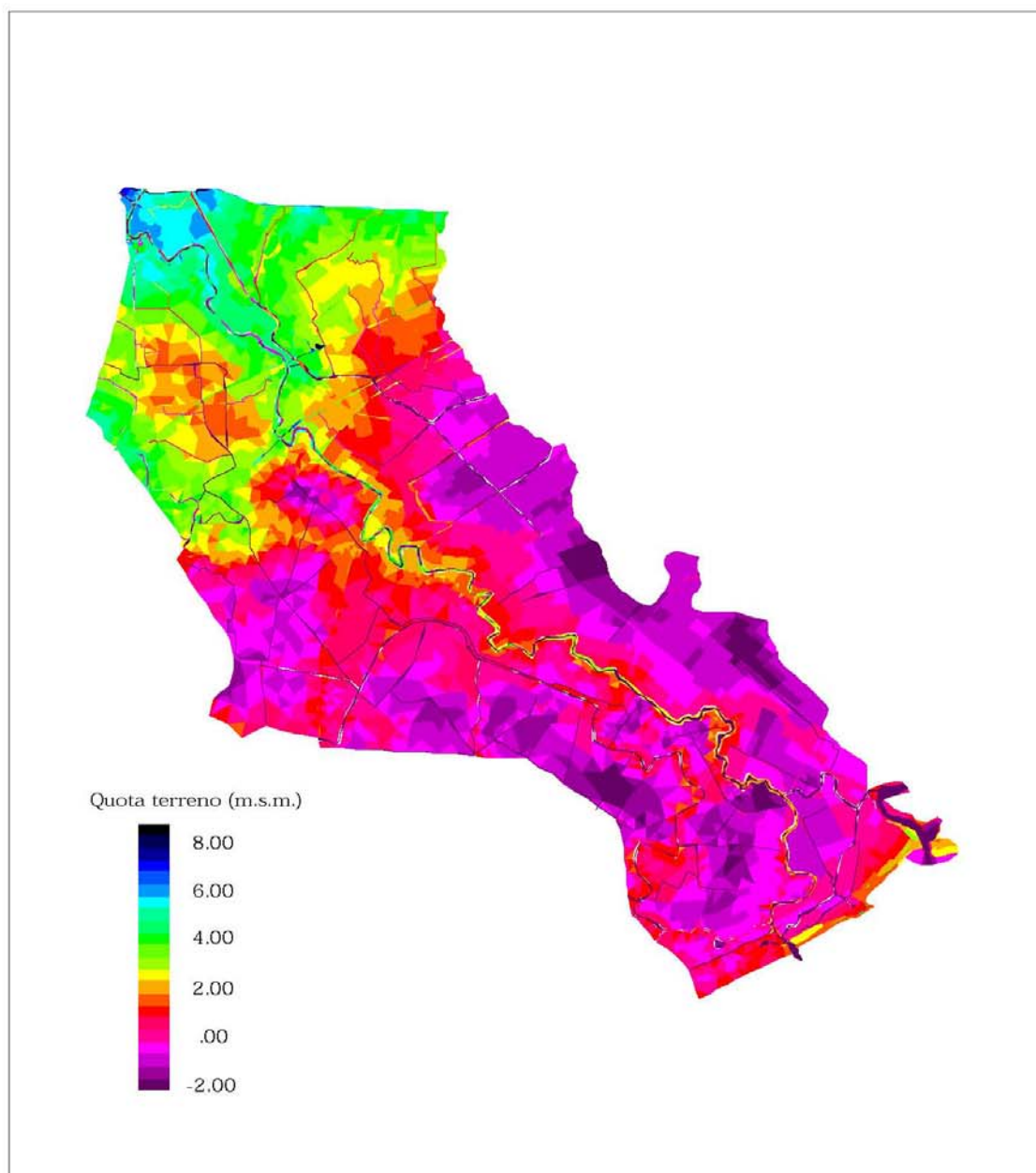


Fig. 5.4 - Modello matematico uni-bidimensionale del corso terminale del F. Livenza e dei territori ad esso adiacenti. Schematizzazione della altimetria del territorio con il modello matematico.

5.3 Taratura del modello matematico

Nel caso in esame è stato possibile condurre una taratura del modello matematico, sia pur limitata al corso del Livenza. Infatti, sulla base di quanto contenuto nel già citato studio [14], esistono degli elementi sperimentali di confronto per verificare il buon accordo con il reale dei risultati forniti dal modello e calibrare opportunamente i valori dei coefficienti di scabrezza.

In particolare è stato considerato l'evento di piena verificatosi nei giorni 8-9-10 ottobre 1993, per il quale sono disponibili gli andamenti dei livelli registrati agli idrometri di Motta di Livenza, S. Stino di Livenza e La Salute.

Con riferimento a tale evento, le portate in ingresso a Motta, che costituiscono la condizione al contorno sul confine di monte del sistema, sono state ricavate dai risultati dei calcoli con il modello unidimensionale riportati nello studio [14], ottenendo un idrogramma con un valore massimo di circa 460 m³/s.

Per le condizioni al contorno allo sbocco del Livenza e del canale Nicesolo nel mare Adriatico, non essendo disponibile l'andamento reale della marea per quei giorni, si è ipotizzata una marea semidiurna con andamento sinusoidale avente un'ampiezza di 0.6 m e oscillante attorno al valore medio di 0.3 m s.m.. Il medesimo andamento nel tempo del livello idrometrico è stato assunto per i nodi di estremità del C. Commessera, alla confluenza con il C. Livenza Morta.

Per quanto riguarda il contributo del F. Monticano, che si immette nel Livenza poco a valle di Motta, sulla base dei dati riportati nello studio [14], che fanno a loro volta riferimento a delle osservazioni idrometriche, tale apporto è descritto da un idrogramma di piena con fase di crescita molto ripida e con un valore al colmo, che si presenta con anticipo rispetto a quello del Livenza, pari a 100 m³/s.

Altre condizioni di portata, infine, sono state inserite nei canali Malgher, Fossa Fosson, Rio Fosson, Magnadetta, Piavon e Brian per garantire che i loro alvei siano riempiti da una lama d'acqua all'istante in cui inizia la simulazione. Le condizioni sui nodi di valle di tali corsi d'acqua, se non stabilite automaticamente dal calcolo in caso di confluenza con altre aste, sono state assegnate come legame tra livello idrometrico e portata fluente (scala delle portate).

Tutte le simulazioni sono state fatte partire da una condizione ipotetica iniziale di moto permanente, ottenuta assegnando in ingresso, nella sezione di Motta, una portata costante di 90 m³/s e portando il sistema verso una condizione stazionaria di regime.

In fase di taratura, poi, sono state condotte alcune preliminari simulazioni per valutare gli effetti sui livelli idrometrici calcolati lungo il fiume Livenza conseguenti all'adozione di diversi coefficienti di scabrezza. I parametri assunti in definitiva per l'alveo centrale e per le zone golenali, che consentono, appunto, di riprodurre al meglio gli andamenti dei livelli misurati nelle stazioni idrometriche prese a riferimento, sono riportati nel paragrafo precedente.

I risultati del calcolo in termini di livelli idrometrici e di portate fluenti sono riportati nelle Fig. 5.5-5.6. Nella Fig. 5.5, in particolare, i livelli calcolati sono messi a confronto con le registrazioni disponibili, e si osserva che, mentre a Motta l'accordo fra calcolato e misurato è molto buono, sia a S. Stino che a La Salute il modello tende a sovrastimare i sovralti. Le differenze, relativamente contenute nei loro valori assoluti, possono essere fatte dipendere, almeno in parte, dalla non perfetta corrispondenza tra le condizioni al contorno imposte a valle e quelle realmente verificatesi nel corso dell'evento.

In generale, comunque, i valori dei livelli al colmo della piena risultano nel complesso ben riprodotti come mostra la Fig. 5.7 nella quale, sul profilo iniluppo dei livelli massimi calcolati, sono indicati i corrispondenti valori misurati.

Infine, nelle Fig. 5.6, sono riportati, a titolo indicativo, gli andamenti delle portate calcolate in corrispondenza delle sezioni significative poste lungo il corso del Livenza. Dal grafico si osserva che, a causa del contributo del Monticano, le portate a S. Stino e a La Salute si incrementano rispetto a quelle che si osservano a Motta.

Si osserva inoltre che l'effetto delle oscillazioni del livello di valle dovuto alla marea si ripercuote in misura modesta sull'entità delle portate fluenti, anche per la sezione di La Salute, posta a meno di 15 km dalla foce. Tale effetto diventa rilevante solo nelle fasi iniziale e finale della piena quando le portate fluenti sono modeste.

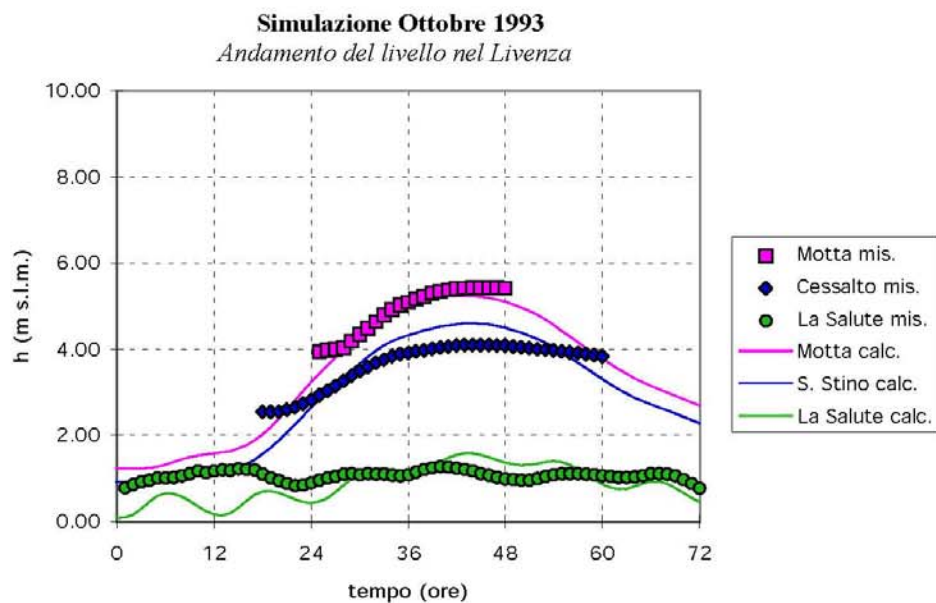


Fig. 5.5 - Confronto tra i livelli misurati e calcolati per l'evento dei giorni 8-10 ottobre 1993 in alcune sezioni del Livenza

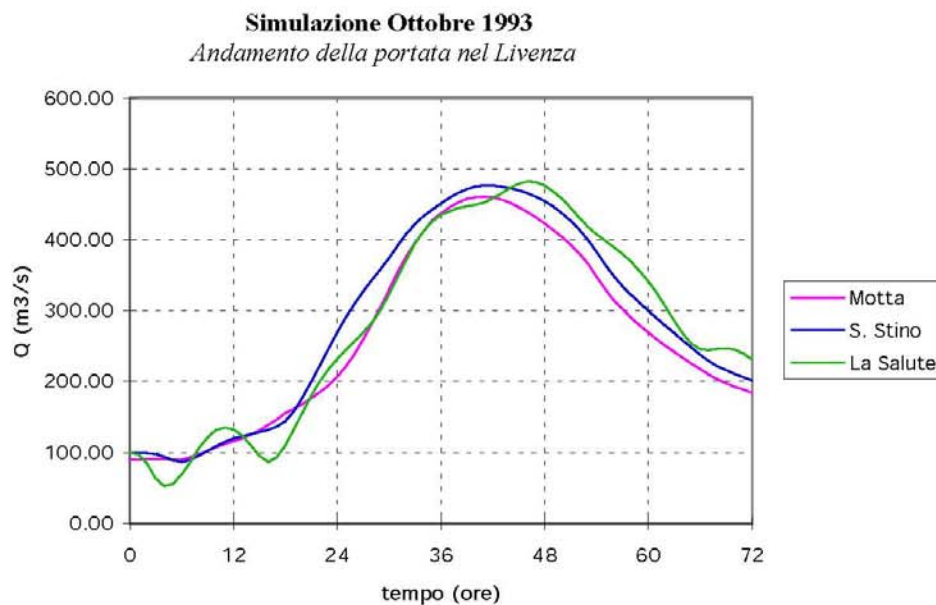


Fig. 5.6 - Andamento delle portate calcolate per l'evento dei giorni 8-10 ottobre 1993 in alcune sezioni del Livenza

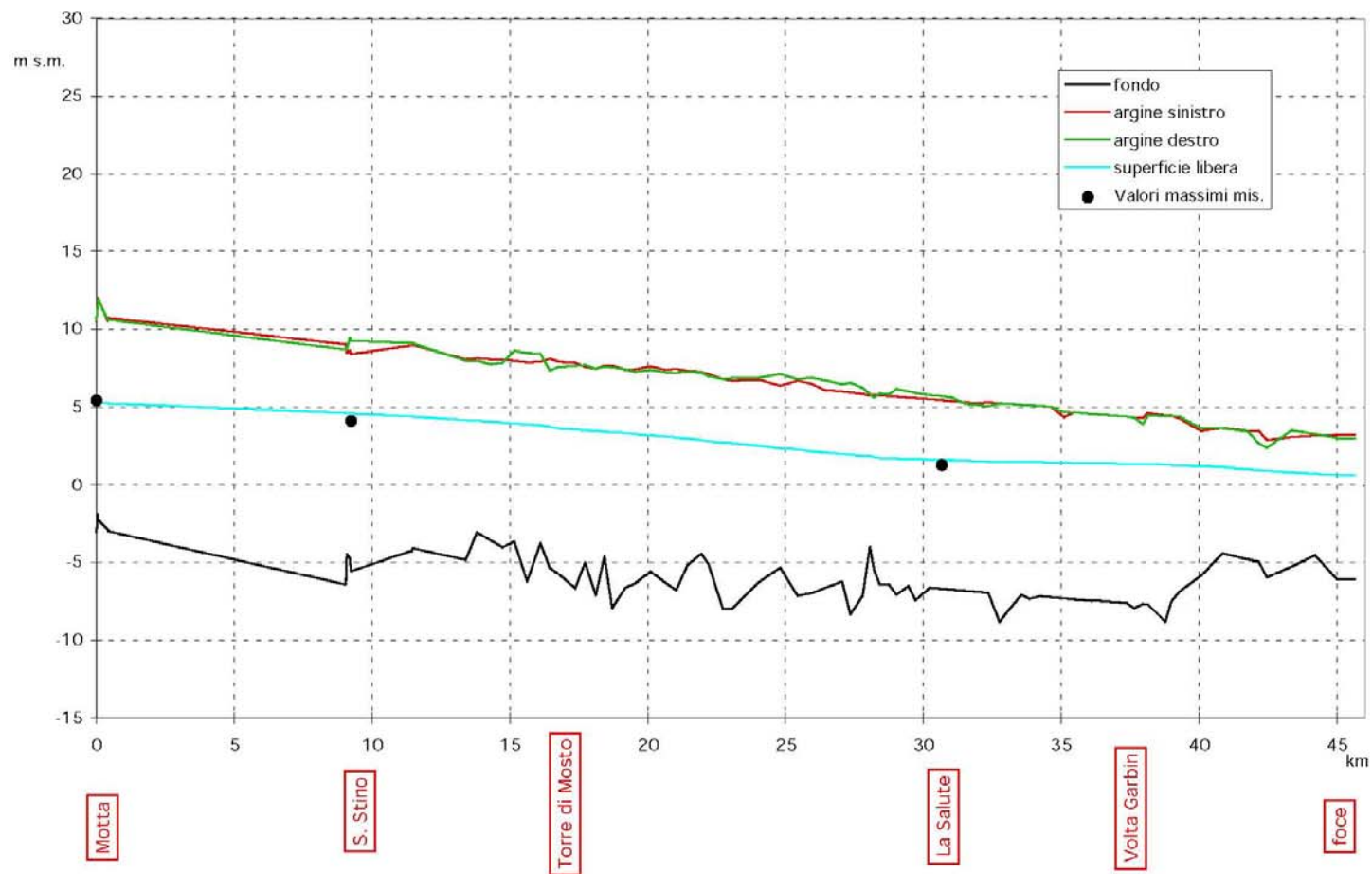


Fig. 5.7 - Profilo involucro dei livelli massimi calcolati per la piena 8-10 ottobre 1993 a confronto con i valori massimi misurati nelle stazioni idrometriche

5.4 Caso A - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 20 anni

Gli eventi di piena critici considerati nelle simulazioni sono stati ricostruiti facendo riferimento al più volte citato studio [8], nel quale con un modello unidimensionale è stata esaminata la propagazione sul torrente Meduna a partire da Pordenone e su tutta l'asta del Livenza di eventi con tempo di ritorno pari a 20, 100 e 500 anni.

Escludendo l'evento cinquecentenario perchè di entità eccessiva rispetto agli scopi della presente indagine, si sono presi in considerazione gli eventi con tempo di ritorno pari a 20 e a 100 anni. Sulla base dei risultati presentati nello studio [14], per tali casi sono state riprodotte le condizioni al contorno assegnate alla foce e si sono valutati gli idrogrammi di piena a Motta, in modo da simulare nel dominio del modello uni-bidimensionale la propagazione dei medesimi eventi di piena.

Ciò da una parte per poter disporre di condizioni al contorno sui nodi di monte del tratto qui considerato che non fossero puramente ipotetiche, ma realisticamente rappresentative di possibili eventi di piena, dall'altra per ottenere ulteriori elementi di confronto utili alla verifica del buon funzionamento del modello. Queste finalità sono infatti insite negli scopi della presente indagine, che si propone come obiettivo la messa a punto di uno strumento numerico di previsione utile per le finalità della Protezione Civile.

Una prima simulazione ha preso pertanto in esame il comportamento del tratto terminale del Livenza in occasione dell'evento di piena con tempo di ritorno pari a 20 anni descritto nello studio [14] che, senza considerare il possibile effetto moderatore prodotto dai serbatoi esistenti nei bacini montani del Cellina e del Meduna, produce a Motta un idrogramma di piena con portata al colmo pari a $1051 \text{ m}^3/\text{s}$. La durata dell'evento considerato è di 60 ore.

Le Fig. 5.8 e 5.9 riportano l'una l'andamento del livello idrometrico, l'altra l'andamento delle portate, calcolati con il modello matematico in alcune sezioni significative collocate lungo il F. Livenza a valle di Motta.

Si può osservare come in corrispondenza della sezione di Motta il passaggio dell'onda di piena provochi un innalzamento del pelo libero di circa 7.5 m, passando il livello idrometrico dalla quota di circa 1.24 m s.l.m. all'istante iniziale alla quota di circa 8.8 m s.l.m. al momento del transito del colmo della piena attorno all'istante $t=46$ ore. All'altezza di S. Stino, nonostante l'immissione del Monticano che, nelle ipotesi assunte, introduce nel Livenza una portata massima di circa $180 \text{ m}^3/\text{s}$, il sovrizzo dovuto al passaggio dell'onda di piena risulta minore, poichè il livello idrometrico si incrementa da circa 0.9 m s.l.m. all'istante iniziale a circa +7.9 m s.l.m. al passaggio del colmo ($t=47$ ore). In effetti nel tratto che va da Motta a S. Stino, caratterizzato da un corso a meandri, l'idrogramma della portata fluente subisce un certo effetto di laminazione. Il contributo del Monticano non annulla questo effetto poichè, come nel precedente caso relativo alla piena del '93, nella simulazione si è assunto che il valore massimo di tale contributo si presenti con un certo anticipo (circa 12 ore) rispetto alla piena nel fiume principale.

Il secondo grafico (Fig. 5.9) mette in evidenza da una parte che, superata Motta, i valori massimi di portata vengono modificati proprio per l'immissione del Monticano, raggiungendo il valore massimo di circa $1140 \text{ m}^3/\text{s}$ a S. Stino. In secondo luogo si può apprezzare lo sfasamento esistente tra l'idrogramma di portata a monte e quelli posti più a valle, che definisce la velocità di propagazione del colmo della piena lungo il corso d'acqua. In particolare all'altezza di Volta Garbin il massimo di portata si presenta all'istante $t=48$ ore, ovvero con un ritardo di circa 4 ore rispetto alla sezione di monte a Motta. Infine dal grafico risulta evidente la significativa

riduzione della portata massima che si verifica a valle di Volta Garbin per l'importante effetto del C. Riello. Nel caso in esame la riduzione di portata dovuta alla derivazione del Riello risulta dal calcolo pari a quasi 500 m³/s.

L'analisi e la localizzazione delle situazioni critiche con riferimento ad eventuali insufficienze delle quote arginali è possibile dall'esame del profilo longitudinale che rappresenta l'inviluppo dei livelli idrometrici massimi raggiunti nel corso della simulazione (Fig. 5.10).

Tale profilo è stato costruito utilizzando come riferimento i dati riportati nella Tabella 5.1, ottenuti dal precedente studio dell'Autorità di Bacino [14] individuando i nodi di calcolo del modello uni-bidimensionale posti in vicinanza delle sezioni rilevate e calcolando le distanze progressive lungo la traccia poligonale che congiunge tali nodi. Le quote del fondo indicate nella stessa tabella sono estratte dalla schematizzazione del corso d'acqua con il modello e si riferiscono all'intorno del nodo in cui è estratto il livello massimo raggiunto. Le quote arginali sono anch'esse dedotte dalla schematizzazione e corrispondono con buona approssimazione alle quote delle sommità arginali riportate nelle sezioni di riferimento.

In base alla Fig. 5.10 si ottiene che le quote arginali del Livenza sono sufficienti a contenere i massimi livelli idrometrici per una piena di frequenza probabile ventennale come quella considerata. Tuttavia si nota che in alcuni tratti la piena produce quote idrometriche massime che arrivano a meno di un metro dalla sommità arginale, e che quindi pongono gli argini stessi in condizioni critiche.

I punti più penalizzati da questo punto di vista si possono individuare poco a monte di S. Stino (sezione 76, progressiva 9 km) e poco più a valle, in prossimità della località S. Anastasio (sezione 70, progressiva 14.5 km).

I risultati ottenuti, infine, se messi a confronto con quelli riportati nello studio dell'Autorità di Bacino (Fig. 5.10), consentono di confermare che esiste una buona corrispondenza tra i livelli massimi calcolati con il modello matematico unidimensionale e quello uni-bidimensionale utilizzato in questo caso in tutto il corso terminale del Livenza a valle di Motta. Tale buon accordo costituisce un significativo riscontro della validità dello schema di calcolo impiegato in questo caso.

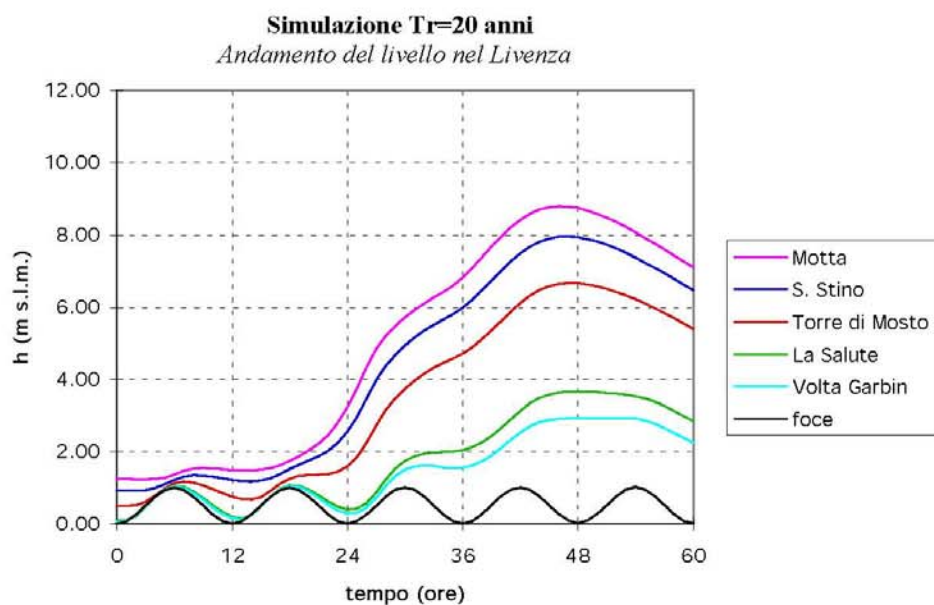


Fig. 5.8 - Andamento dei livelli calcolati per l'evento con Tr=20 anni in alcune sezioni del Livenza (caso A)

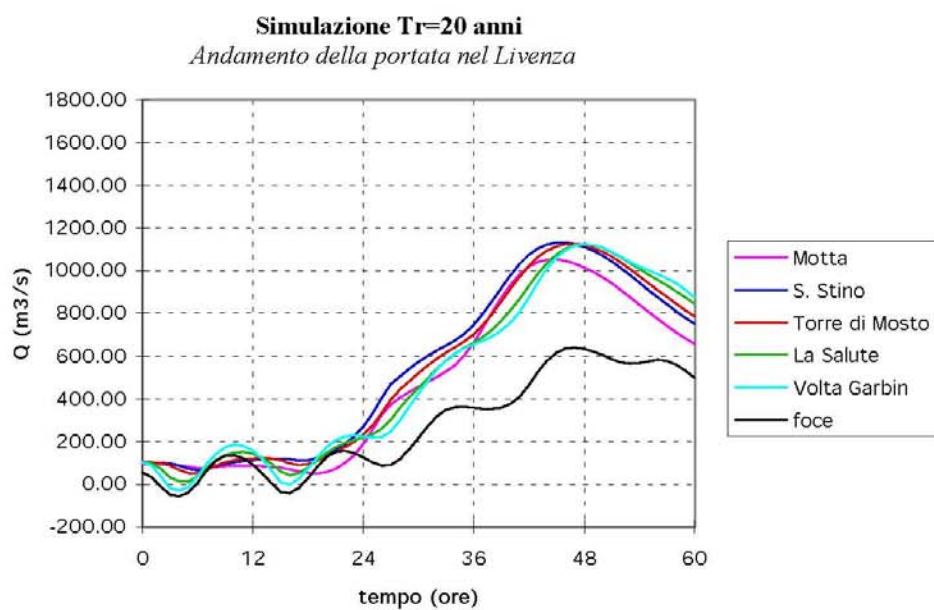


Fig. 5.9 - Andamento delle portate calcolate per l'evento con Tr=20 anni in alcune sezioni del Livenza (caso A)

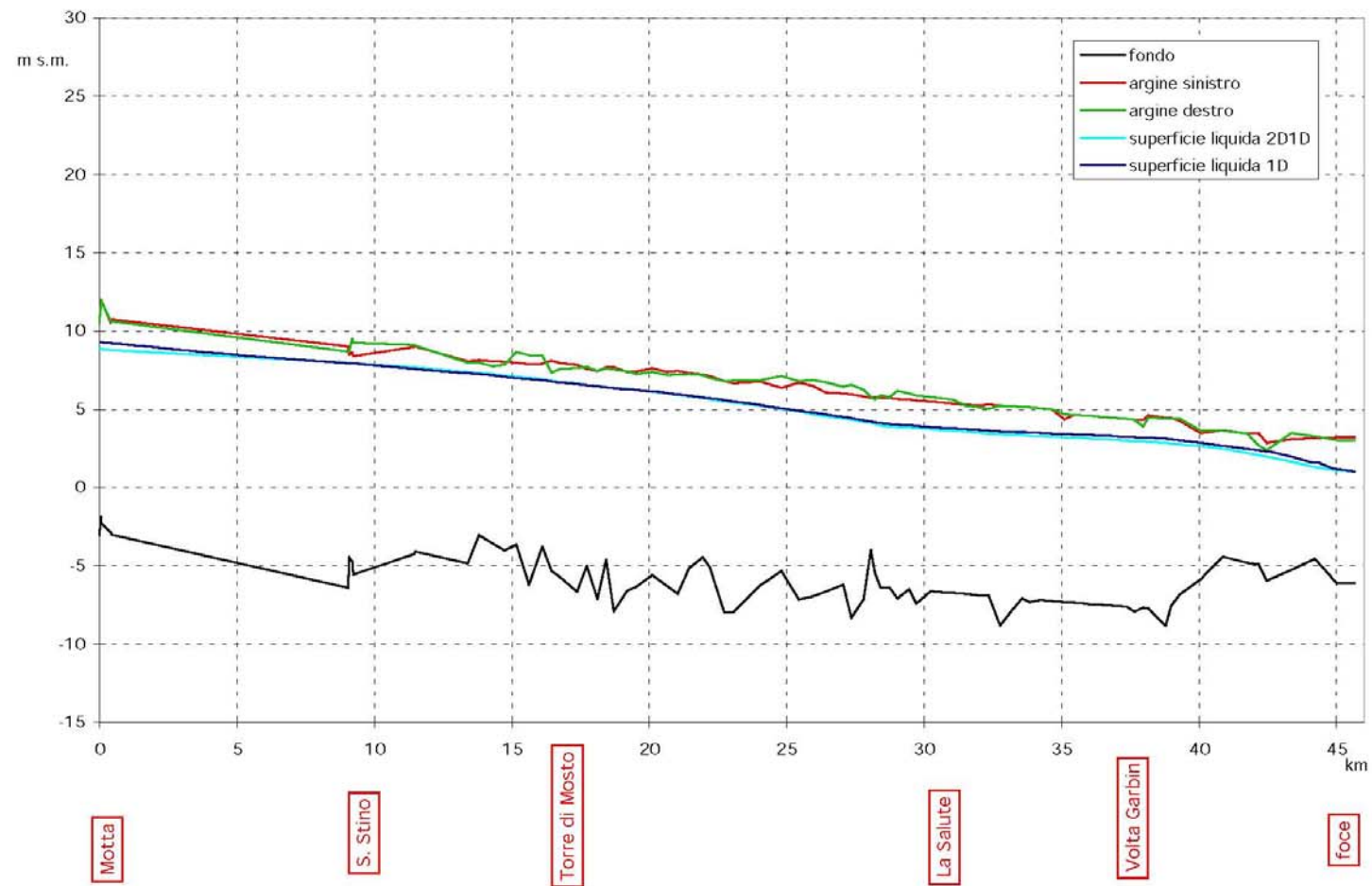


Fig. 5.10 - Profilo involucro dei livelli massimi calcolati per un evento con $T_r=20$ anni (caso A).

5.5 Caso B - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 100 anni

5.5.1 Premessa

In questa seconda serie di simulazioni è stata presa in esame la propagazione di un evento di piena di carattere eccezionalmente gravoso, il cui tempo di ritorno può essere valutato in circa 100 anni. L'idrogramma di portata a Motta per tale evento è stato valutato sulla base dei risultati contenuti nello studio dell'Autorità di Bacino [14].

Deve essere sottolineato al riguardo che in quello studio i calcoli sono stati condotti con un modello unidimensionale che non tiene conto degli effetti, sulla propagazione delle onde di piena, di eventuali sormonti delle arginature. In [14] si mette infatti in evidenza che eventi con tempi di ritorno dell'ordine di 100 anni sono superiori alla capacità di portata del corso del Meduna - Livenza, ed in particolare quei calcoli evidenziano che in più punti tali eventi danno luogo al sormonto delle arginature del Meduna nel tratto da Pordenone a Tremeacque. Di conseguenza, non tenendo il modello in conto della riduzione delle portate dovuta alle tracimazioni, le portate massime che sono attribuite al tratto terminale del Livenza per l'evento centenario, e che sono state assunte come condizioni al contorno per il modello unidimensionale in questo caso, sono presumibilmente maggiori di quelle che possono verificarsi nella realtà per lo stesso evento. Ciò nonostante i calcoli qui effettuati sono egualmente significativi poichè le portate considerate non sono verosimilmente molto lontane da quelle possibili, e mantengono in pieno la loro validità nel caso in cui le arginature del Meduna a valle di Pordenone fossero rinforzate in modo da contenere anche piene come quelle qui considerate.

Nella prima simulazione (caso B.1) si è esaminata la propagazione di una piena centenaria in assenza di effetti di laminazione dovuti alla presenza degli esistenti serbatoi nei bacini montani del Cellina e Meduna. Di tali serbatoi ad uso elettro-irriguo (Barcis sul Cellina, Ca' Zul, Ca' Selva e Ponte Racli sul Meduna) è infatti possibile un impiego ad uso moderatore delle portate di piena, che potrebbe portare, come è indicato nello studio dell'Autorità di Bacino [14], a significative riduzioni delle portate massime nel tratto terminale del Livenza.

A questa analisi segue una simulazione che tiene conto della presenza dei serbatoi situati nei bacini montani del Cellina e del Meduna (caso B.2).

Un'ultima simulazione (caso B.3) ha esaminato il caso in cui, nelle stesse ipotesi assunte per il caso B.2, ad un certo istante, a causa delle tracimazioni lungo l'argine destro del Livenza, si verifichi il cedimento di un tratto del corpo arginale là dove esso è sormontato dalle acque. In tutti i casi, è stata considerata alla foce una marea semidiurna di ampiezza pari ad 1 metro avente andamento sinusoidale e oscillante attorno alla quota 0.5 m s.l.m. Tale andamento è rappresentativo di una alta marea come quelle che si possono verificare in condizioni di sizigia nell'Alto Adriatico.

5.5.2 Caso B.1 - Esame della propagazione di una piena centenaria in assenza di effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani

Per quanto riguarda il caso B.1, la Fig. 5.11 riporta l'andamento dei livelli nelle stesse sezioni del Livenza già considerate nel caso precedentemente esaminato.

Si osserva che l'evento di piena ipotizzato produce un innalzamento del livello idrometrico dell'ordine di quasi 9 m all'altezza dell'abitato di Motta, dove al momento del passaggio del colmo della piena si supera la quota 10.0 m s.l.m.

Condizioni particolarmente critiche si realizzano nella sezione di S. Stino dove le altezze raggiunte sono sensibilmente minori rispetto a Motta per il fatto che gli argini vengono sormontati dalla piena proprio all'altezza di S. Stino in sinistra idrografica. Un chiaro effetto di "decapitazione" si osserva anche per i grafici relativi alle sezioni poste più a valle. Dall'analisi dei risultati si evince, infatti, che anche nel tratto di Livenza compreso tra S. Anastasio e Torre di Mosto, questa volta in destra idrografica, si verificano ulteriori sormonti delle arginature e conseguenti esondazioni.

Il profilo involuppo dei livelli idrometrici massimi riportati in Fig. 5.13 chiarisce meglio questi aspetti, poichè evidenzia i tratti del profilo arginale in cui il franco si annulla. Nella stessa Fig. 5.13, inoltre, vengono messi a confronto i livelli idrometrici calcolati con il modello matematico uni-bidimensionale e quelli riportati nello studio dell'Autorità di Bacino [14], calcolati con il modello matematico unidimensionale: si nota che i livelli calcolati con lo schema uni-bidimensionale sono più bassi di circa 1.5 metri rispetto a quelli calcolati con lo schema unidimensionale, e ciò accade evidentemente per gli effetti delle tracimazioni.

Nella Fig. 5.12 è riportato l'andamento delle portate nelle sezioni di riferimento scelte lungo il Livenza. In questo caso, a fronte di portate massime a Motta dell'ordine di oltre 1600 m³/s, a S. Stino tali portate si riducono a circa 1500 m³/s, e a Torre di Mosto sono dell'ordine di 1300 m³/s. L'entità di tali riduzioni è evidentemente legata al sormonto delle arginature in sinistra e in destra.

5.5.3 *Caso B.2 - Esame della propagazione di una piena centenaria ipotizzando gli effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani*

Nella simulazione relativa al caso B.2 l'idrogramma di portata a Motta è stato ricavato dallo studio [14], dal caso in cui si prevede una certa riduzione delle portate massime in arrivo da monte per effetto del parziale invaso delle onde di piena nei serbatoi montani del Cellina e del Meduna. Le ipotesi assunte sullo stato iniziale dei serbatoi e sul funzionamento degli scarichi delle dighe portano ad una riduzione della portata massima a Motta di oltre 300 m³/s, poichè il valore massimo in questo caso è di poco inferiore a 1300 m³/s.

La Fig. 5.14 illustra l'andamento del livello idrometrico nelle sezioni lungo il Livenza. Il confronto con la precedente Fig. 5.11 consente di rilevare che l'inserimento dei serbatoi produce significative riduzioni dei livelli massimi, valutabili, a Motta, in circa 50 cm. Ciò non è sufficiente, però, per garantire la sicurezza dei tratti già risultati critici nella simulazione precedente, lungo i quali anche in questo caso le quote idrometriche superano le sommità arginali.

La Fig. 5.16 illustra l'andamento dei profili involuppo delle altezze massime raggiunte, confrontando anche in questo caso i risultati ottenuti con quelli del modello unidimensionale. Anche in questa situazione si verifica un certo scostamento, valutabile mediamente in circa 50 centimetri tra i livelli calcolati con lo schema unidimensionale e uni-bidimensionale, dovuto ancora al fatto che il modello unidimensionale non considera le riduzioni di portata per effetto dei sormonti.

Il profilo relativo al Livenza mostra che permangono le condizioni critiche nelle sezioni di S. Stino in sinistra e tra S. Anastasio e S. Stino di Livenza in destra nelle quali il franco idraulico si annulla dando luogo così al sormonto degli argini.

La Fig. 5.15 riporta l'andamento delle portate fluenti nelle sezioni di riferimento evidenziando anche in questo caso l'effetto delle tracimazioni.

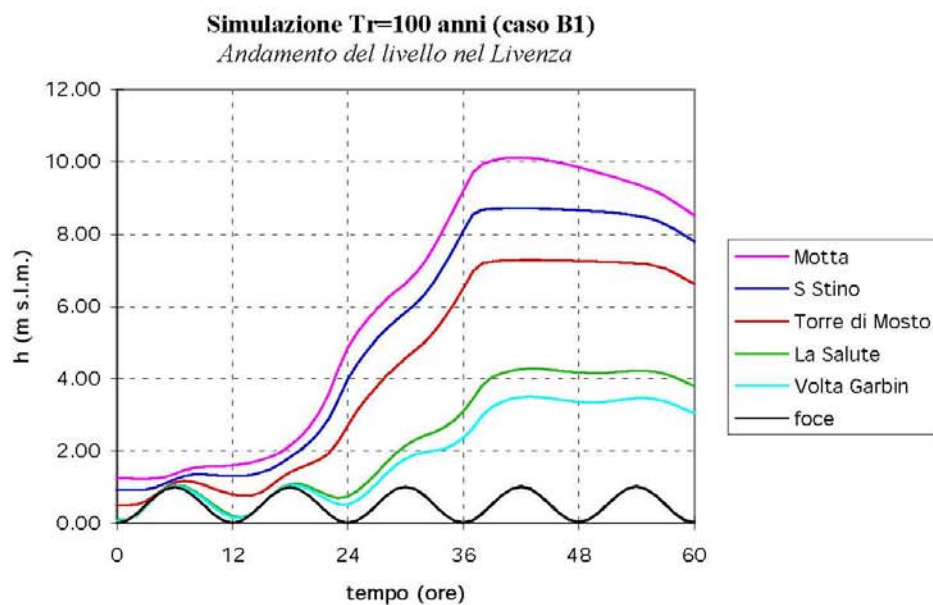


Fig. 5.11 - Andamento dei livelli calcolati per l'evento con $Tr=100$ anni senza l'effetto dei serbatoi in alcune sezioni del Livenza (caso B1)

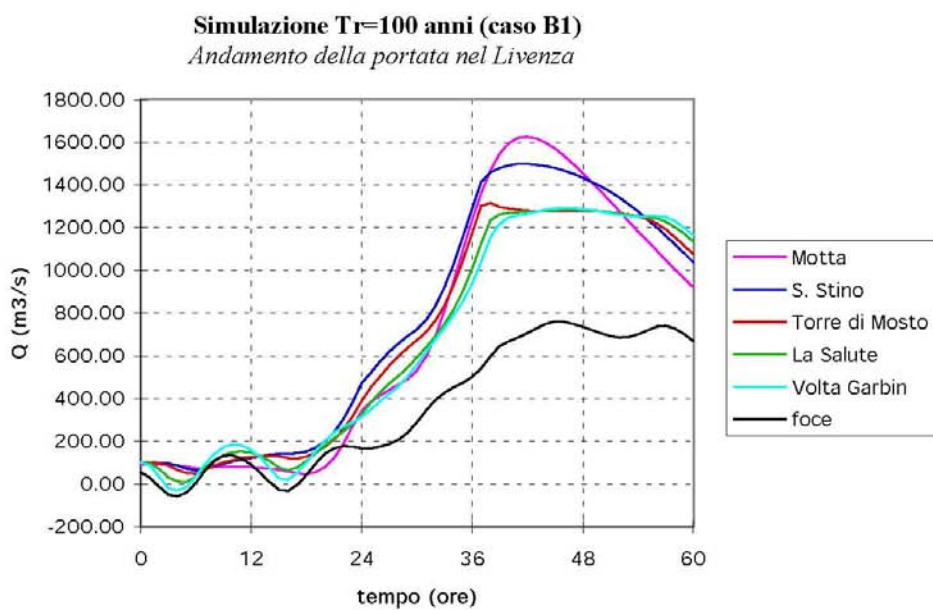


Fig. 5.12 - Andamento delle portate calcolate per l'evento con $Tr=100$ anni senza l'effetto dei serbatoi in alcune sezioni del Livenza (caso B1)

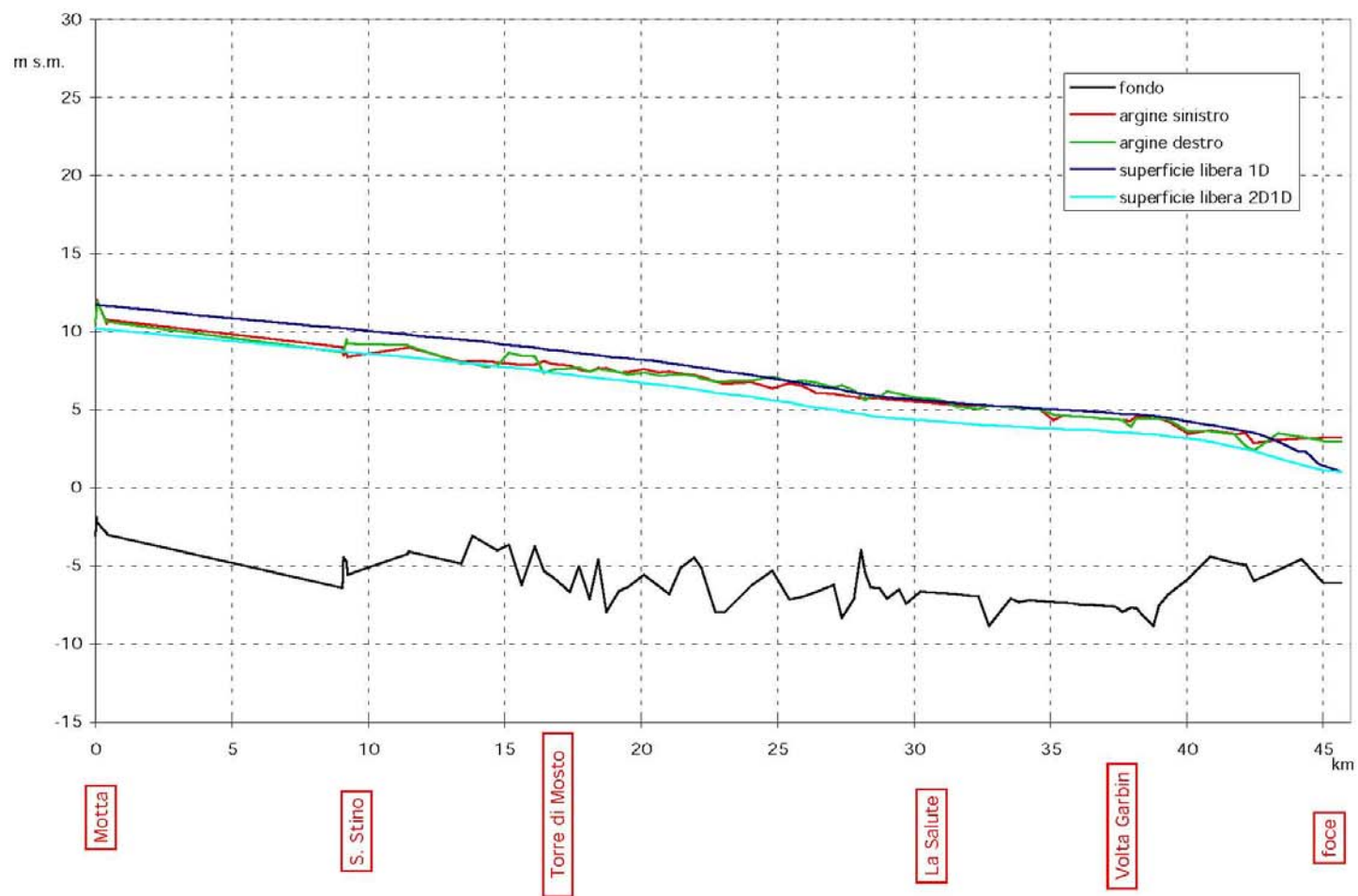


Fig. 5.13 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati per un evento con $T_r=100$ anni senza l'effetto dei serbatoi (caso B.1).

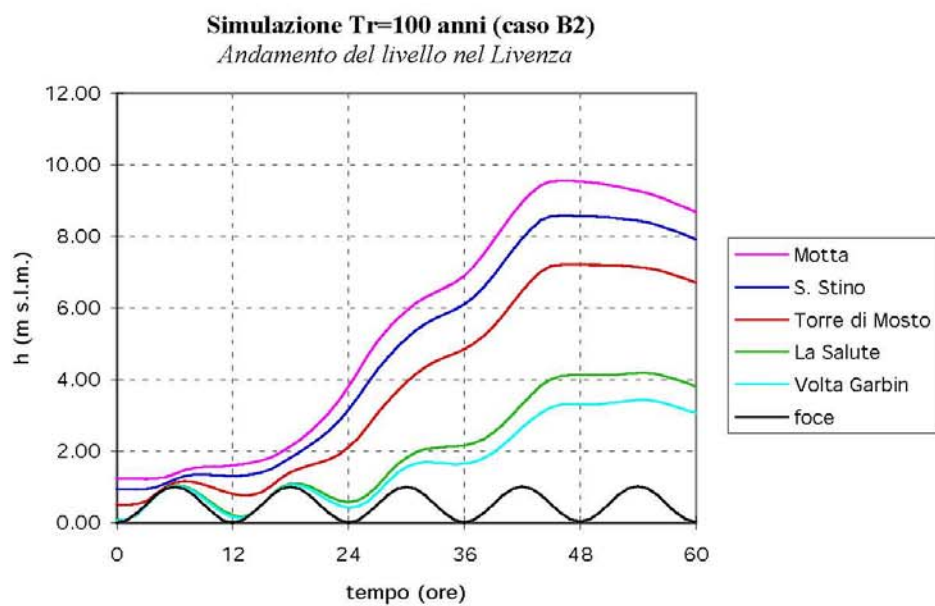


Fig. 5.14 - Andamento dei livelli calcolati per l'evento con Tr=100 anni con l'effetto dei serbatoi in alcune sezioni del Livenza (caso B2)

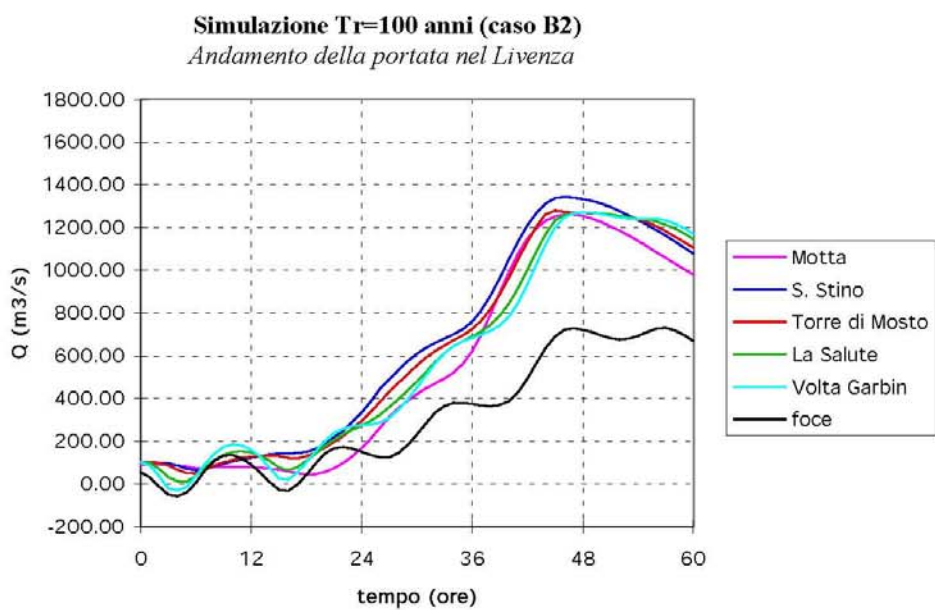


Fig. 5.15 - Andamento delle portate calcolate per l'evento con Tr=100 anni con l'effetto dei serbatoi in alcune sezioni del Livenza (caso B2)

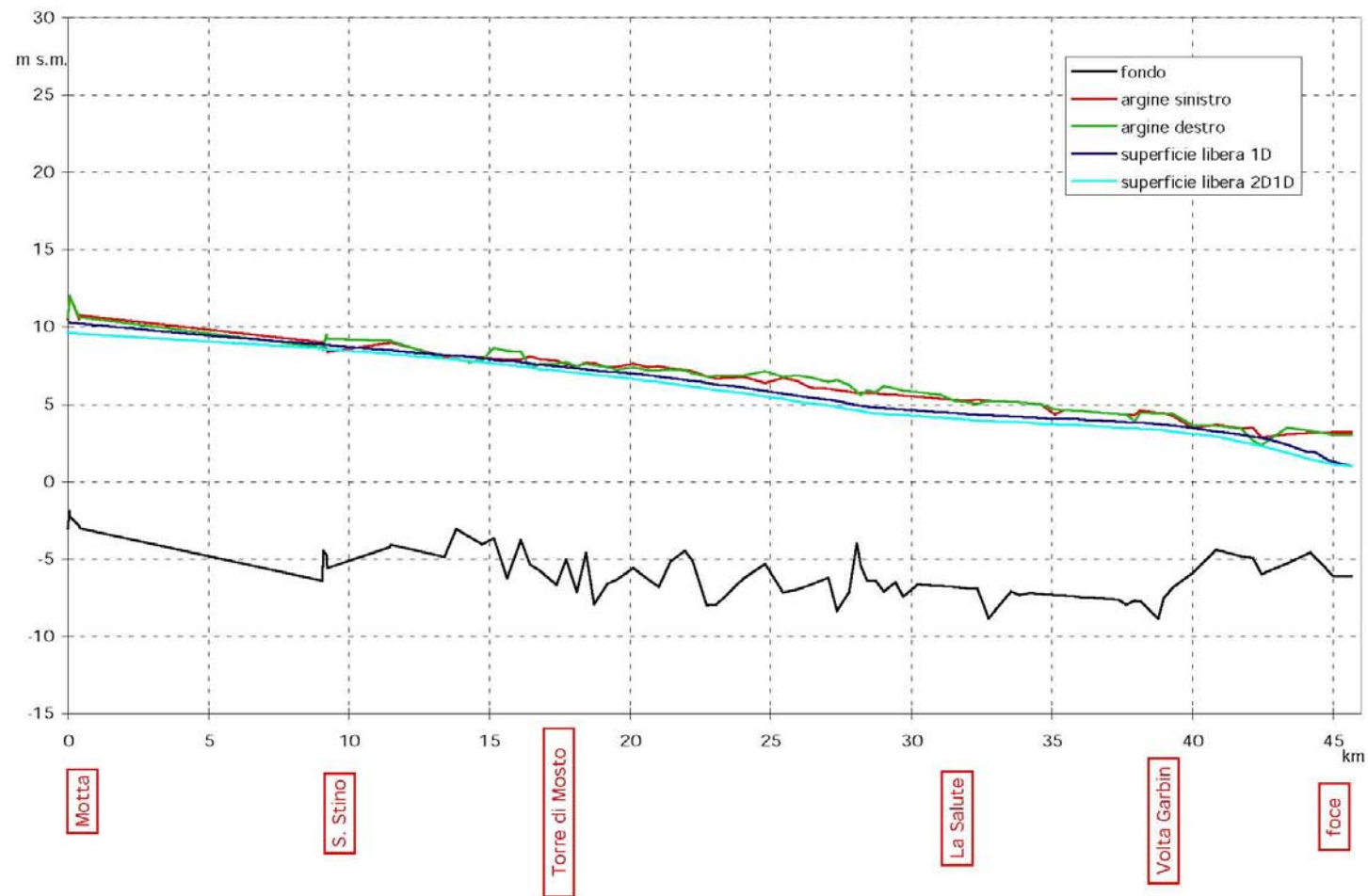


Fig. 5.16 - Profilo involucro dei livelli massimi calcolati per un evento con $T_r=100$ anni con l'effetto dei serbatoi (caso B.2).

5.5.4 *Caso B.3 - Esame della propagazione di una piena centenaria ipotizzando gli effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani e simulando una rotta dell'argine destro del Livenza*

Nella terza simulazione (Caso B.3) si sono utilizzate le medesime condizioni al contorno assegnate nel caso B.2, ma si è ipotizzato che, a causa delle tracimazioni lungo l'argine destro del Livenza, ad un certo istante si verifichi il cedimento di un tratto del corpo arginale là dove esso è sormontato dalle acque.

Il punto individuato come maggiormente critico, sulla base dei risultati dei calcoli precedenti, si trova a valle di S. Stino, tra località S. Anastasio e Torre di Mosto (sezioni 69 e 70).

La simulazione prevede che la rotta inizi all'istante $t = 45$ ore, quando nel tratto considerato inizia il sormonto, e che nell'arco di 1 ora si apra sulla difesa longitudinale una breccia della lunghezza di 50 m, che rapidamente distrugge l'argine portandone la sommità dalla quota iniziale di 7.73 m s.l.m. a quella di 2.6 m s.l.m., circa 1 m al di sopra della quota media del terreno nelle immediate adiacenze dell'argine.

Nella Fig. 5.17 sono riportati gli andamenti dei livelli calcolati nelle ipotesi descritte in alcune sezioni significative. Per verificare in particolare gli effetti della rotta i grafici possono essere utilmente confrontati con quelli di Fig. 5.14, relativi al precedente caso B.2.

L'effetto della rotta sui livelli nel Livenza porta, come del resto si poteva prevedere, ad un improvviso abbassamento degli stessi a valle. Tale effetto non è però molto rilevante sui valori massimi raggiunti dalle quote idrometriche nel corso della piena (Fig. 5.19), poichè nelle ipotesi assunte la rotta si verifica quando nella sezione interessata i livelli raggiungono il loro massimo, e in tale istante sono vicini al loro massimo anche i livelli nelle sezioni poste più a valle.

5.5.5 *Analisi degli effetti delle esondazioni sui territori adiacenti al Livenza*

Per esaminare gli effetti dei sormonti e delle esondazioni simulate dal modello nei tre casi esaminati, è conveniente ricorrere alla rappresentazione della progressione delle aree allagate che si verifica nel corso della simulazione. Le Figg. 5.20, 5.21 e 5.22 illustrano la distribuzione delle altezze d'acqua in tutto il sistema con una successione di immagini relative a diversi istanti di ciascuna delle tre simulazioni. Le sequenze complete delle animazioni da cui tali immagini sono state estratte, sono contenute nei files allegati al presente studio.

Come si può notare le immagini relative al caso B.1 (Fig. 5.20) mostrano che la piena considerata è tale da inondare la località S. Stino di Livenza interessando, poi, in modo generalizzato, l'ampia fascia di territorio tra il Fiume Livenza e il Fiume Loncon. Le altezze d'acqua che si stabiliscono a S. Stino sono cospicue, essendo superiori ai 1.5 m.

La stessa Fig. 5.20 evidenzia, inoltre, che anche il sormonto dell'argine destro tra S. Anastasio e Terra di Mosto produce un allagamento che interessa una vasta area di campagna, in cui non sono presenti centri abitati di grandi dimensioni.

Dall'esame delle mappe delle zone allagate si può notare che, secondo il calcolo, la superficie invasa dalle acque (indicata in Figura 5.20) è di rilevante estensione, e l'altezza della lama d'acqua è dell'ordine di 2 m nelle zone più depresse. La velocità con cui, mediamente, avanza l'onda di sommersione, può essere stimata esaminando le mappe ad istanti successivi. In questo caso data la natura pianeggiante del territorio e data la presenza di numerosi ostacoli che controllano la propagazione del fronte di allagamento (principalmente le arginature dei corsi d'acqua) tale velocità media non supera i 0.2 m/s.

Dal calcolo risulta, inoltre, che le portate che allagano la campagna sormontando gli argini in sinistra Livenza raggiungono, sul colmo del fenomeno, i 275 m³/s. Dall'integrazione nel tempo

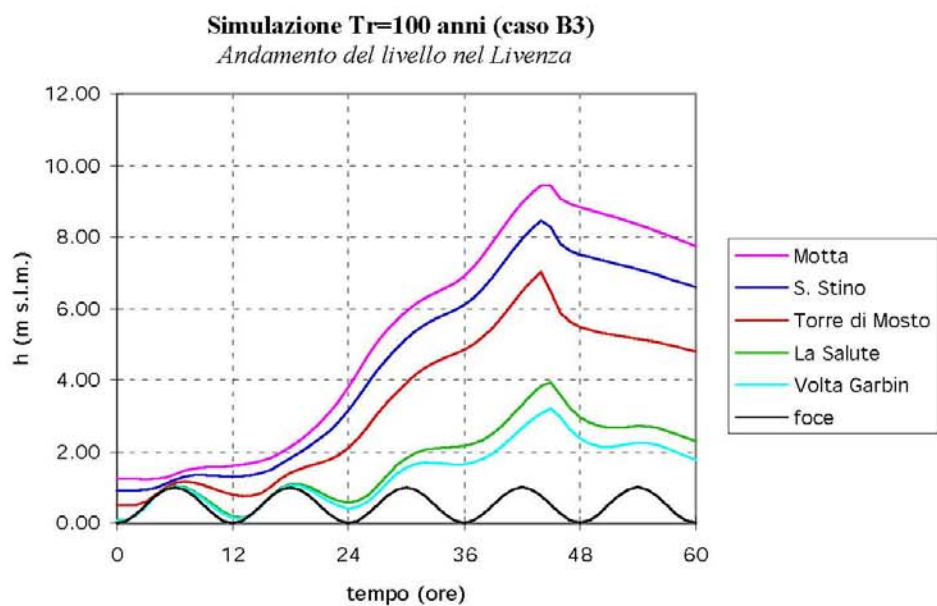


Fig. 5.17 - Andamento dei livelli calcolati per l'evento con Tr=100 anni con l'effetto dei serbatoi ed ipotizzando una rotta di un tratto d'argine destro del Livenza (caso B3)

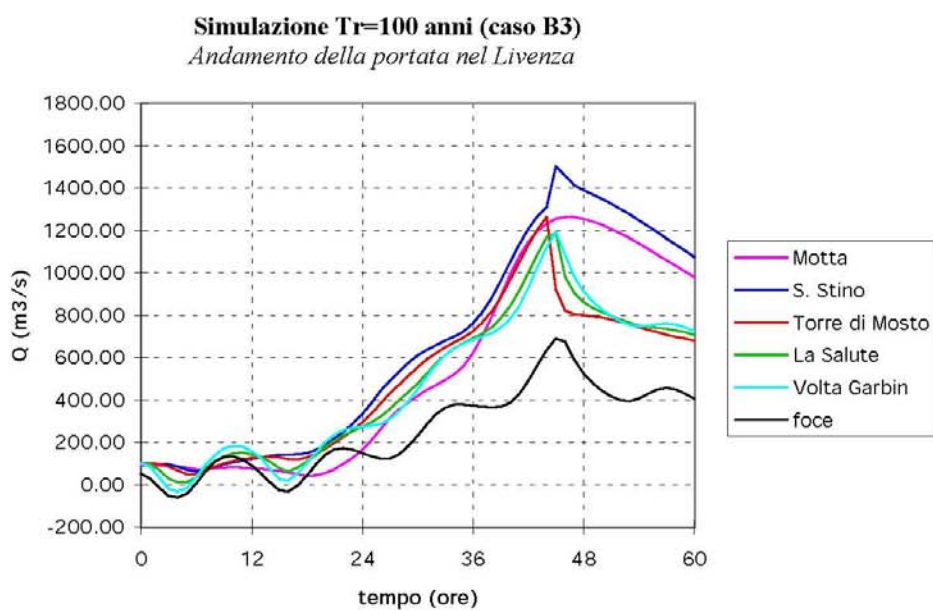


Fig. 5.18 - Andamento delle portate calcolate per l'evento con Tr=100 anni con l'effetto dei serbatoi ed ipotizzando una rotta di un tratto d'argine destro del Livenza (caso B3)

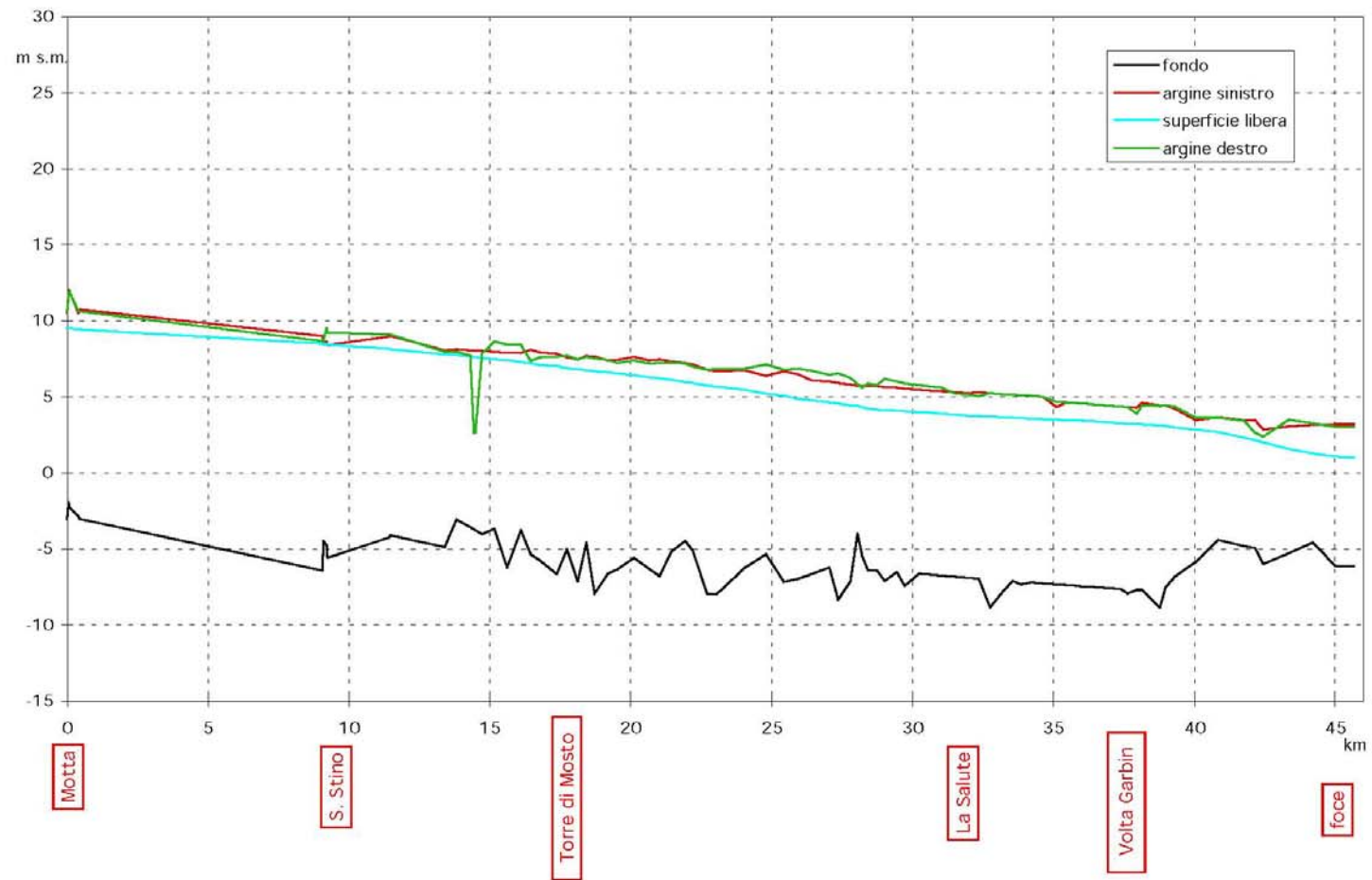


Fig. 5.19 - Profilo involucro dei livelli massimi calcolati per un evento con $T_r=100$ anni con l'effetto dei serbatoi ed ipotizzando una rotta di un tratto d'argine destro del Livenza (caso B.3).

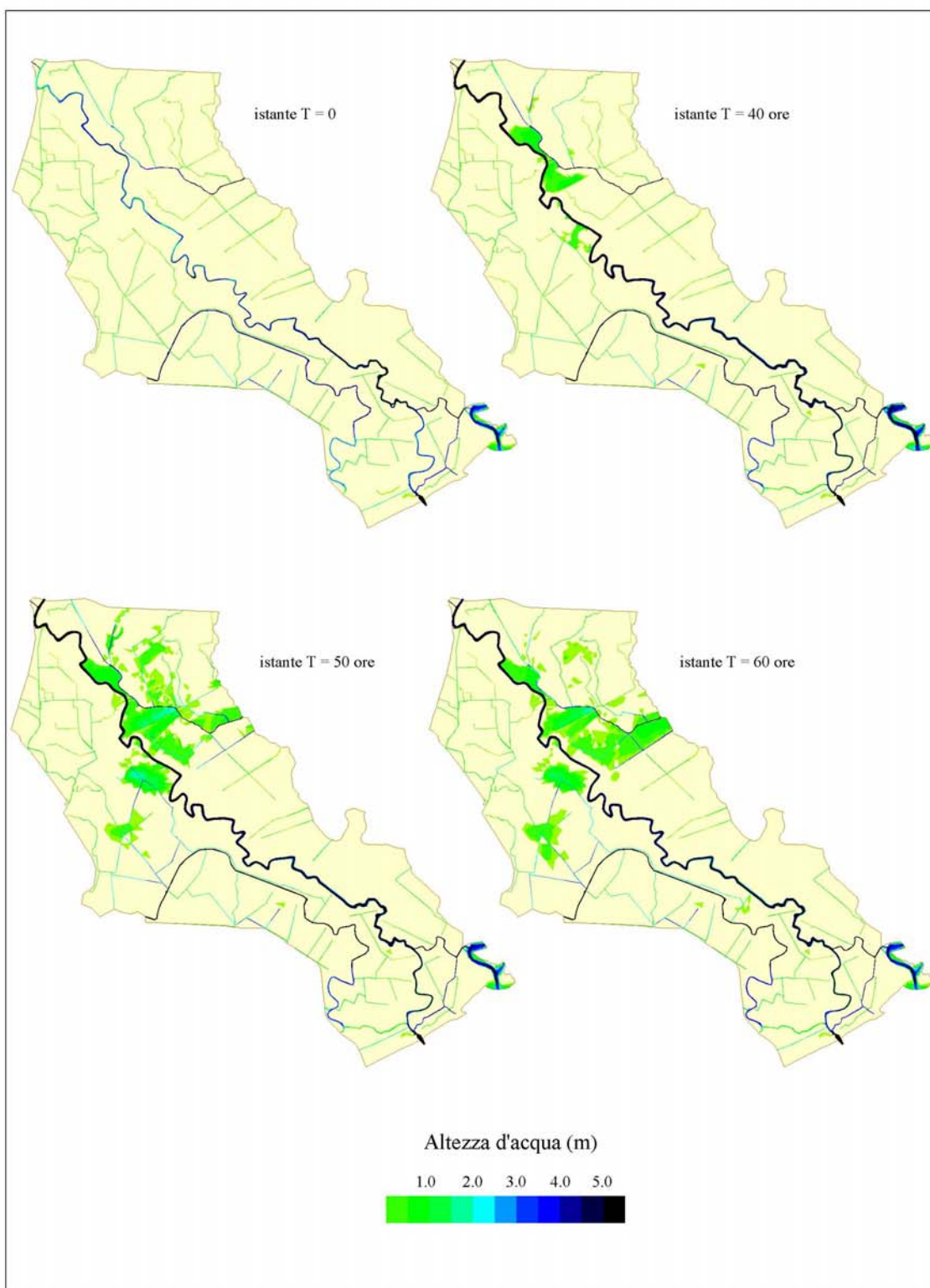


Fig. .20 - Bacino del Livenza. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $T_r = 100$ anni in assenza di effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani (caso B.1).

di tale flusso il volume d'acqua che complessivamente esce dal canale raggiunge i 12 milioni di m³.

Nel caso in cui si dovesse verificare realmente un allagamento di tali proporzioni è evidente che lo smaltimento delle acque per opera degli impianti idrovori esistenti richiederebbe tempi molto lunghi. Considerando (vedi Tab. 5.2) che complessivamente le idrovore presenti in questo territorio possono scaricare al massimo, in condizioni di piena efficienza, circa 15 m³/s, esse sarebbero in grado di smaltire il volume indicato se funzionassero ininterrottamente per oltre 10 giorni.

Le Figure relative ai casi B.2 e B.3 (Fig. 5.21 e 5.22) mostrano la diversa entità degli allagamenti segnalati dal modello rispetto il caso B.1.

Nel caso B.2, per l'effetto di laminazione dovuto all'utilizzazione dei serbatoi esistenti nei bacini montani del Cellina e del Meduna che riduce le portate in arrivo da monte, il territorio interessato all'allagamento si riduce alla fascia compresa tra il Fiume Livenza ed il C. Malgher, mentre la località S. Stino risulta, anche in questo caso, seppur in maniera più ridotta, interessata dall'esondazione.

Nella simulazione del caso B.3, con la quale si è ipotizzato anche il cedimento di un tratto delle arginature del Livenza, l'entità dell'allagamento si aggrava di molto sui territori adiacenti alla rotta, poichè, come è ovvio, le portate che escono dalla breccia incrementano sensibilmente il volume dell'onda di sommersione e risultano interessate dall'allagamento le località Torre di Mosto e Prà di Levada. A causa della morfologia del territorio allagato, caratterizzato da pendenze deboli o nulle e dalla presenza di aree depresse in cui le acque esondanti tendono a raccogliersi, si osserva un aumento dell'altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui terreni allagati, che a Torre di Mosto raggiunge quasi i 2 m.

Per quest'ultima situazione si nota dalle mappe che, proprio in ragione delle maggiori portate esondanti, sembra aumentata considerevolmente la velocità con cui l'onda di sommersione invade il territorio. Per le maggiori altezze d'acqua con cui il fronte dell'onda si propaga diminuisce verosimilmente il ritardo introdotto dagli ostacoli presenti sul territorio, per cui la velocità media di avanzamento del fronte stesso può essere stimata in 0.3 ÷ 0.4 m/s.

Infine si osserva che anche in quest'ultimo caso persistono i sormonti dell'argine sinistro all'altezza di S. Stino, da cui deriva l'allagamento del centro abitato con una lama d'acqua che, secondo il calcolo, è pari mediamente a 0.5 m.

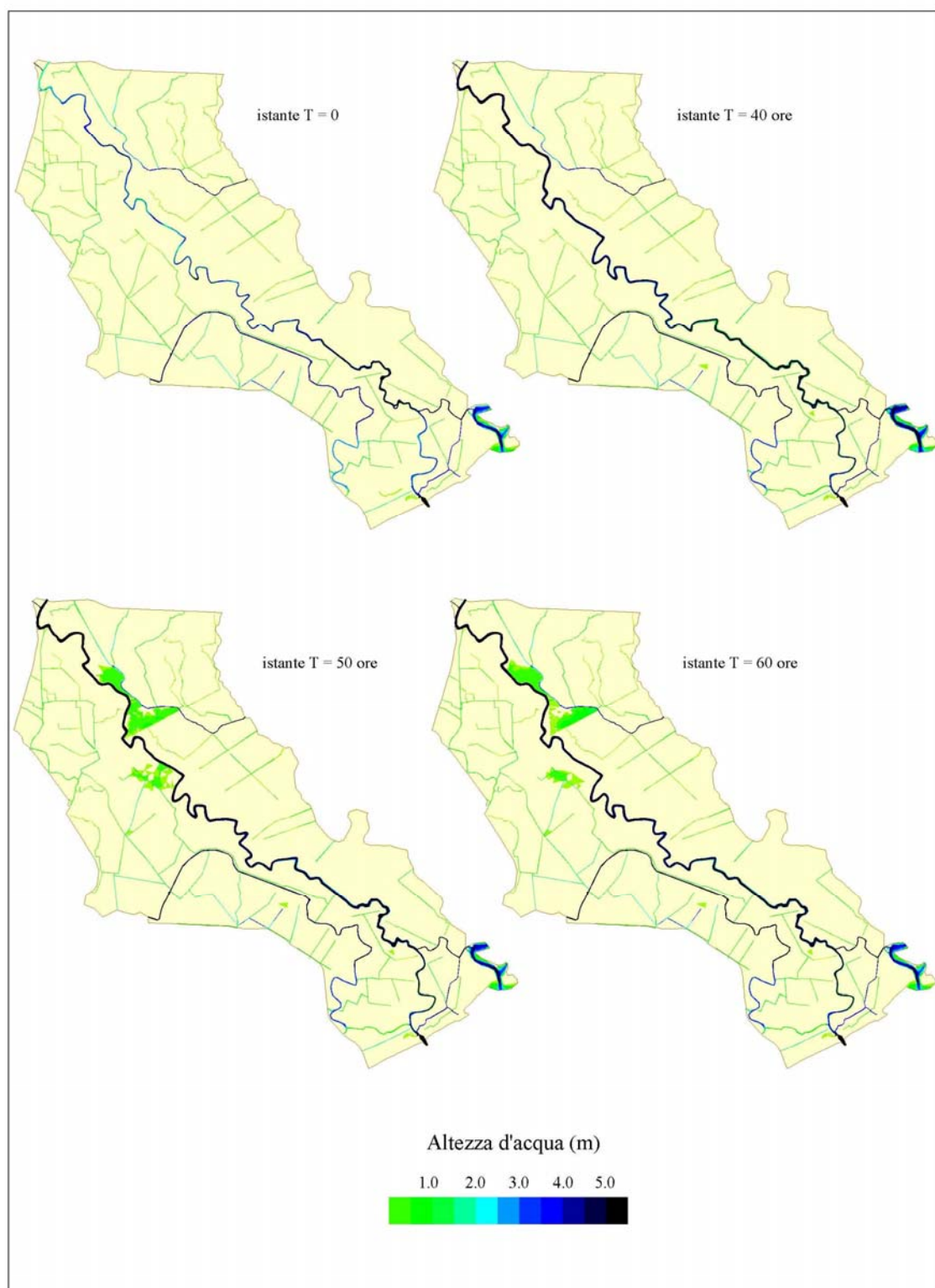


Fig.5 .21 - Bacino del Livenza. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 100$ anni ipotizzando gli effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani (caso B.2).

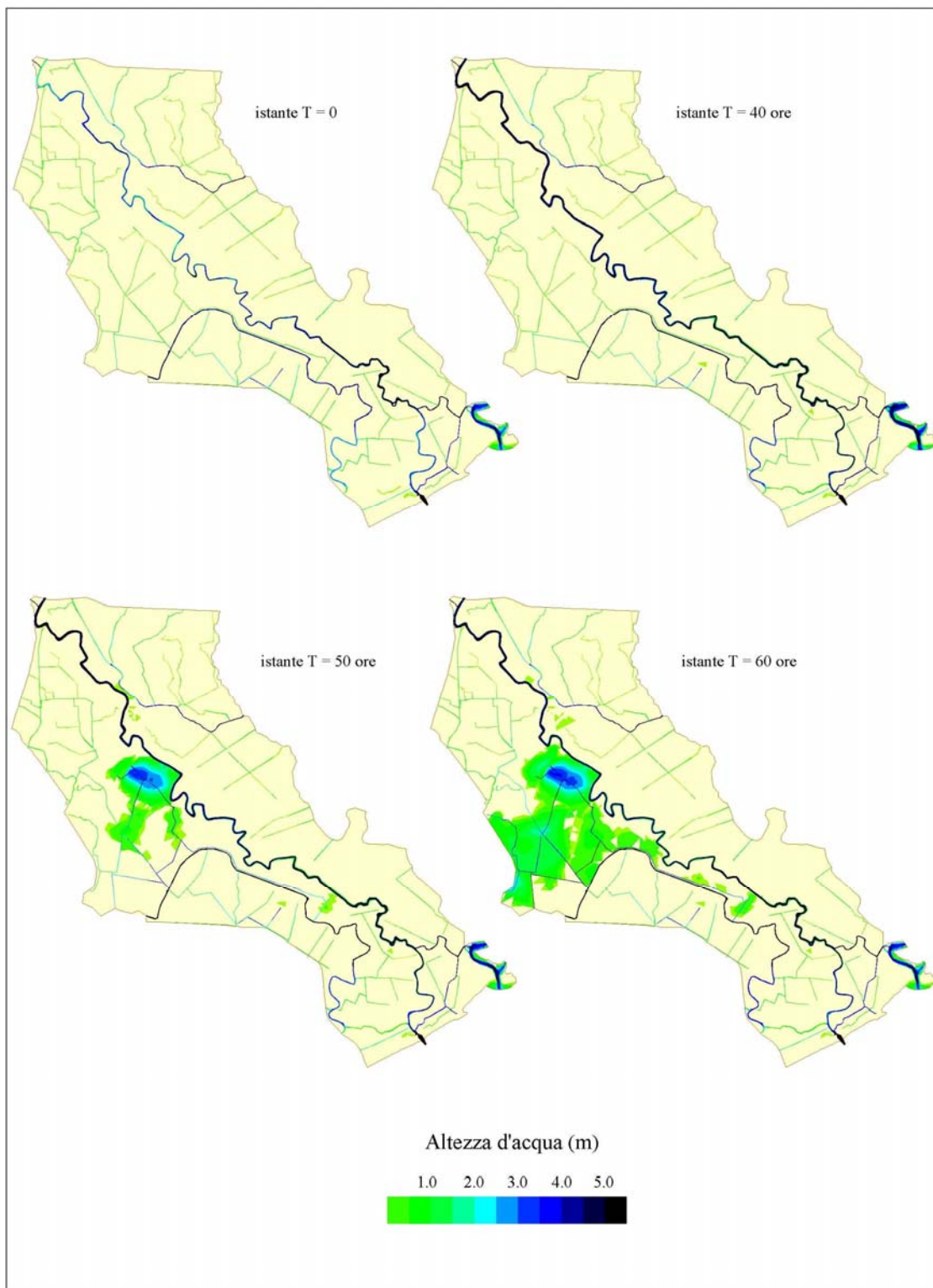


Fig.5 .22 - Bacino del Livenza. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 100$ anni ipotizzando gli effetti di laminazione dovuti ai serbatoi montani e simulando una rotta dell'argine destro del Livenza (caso B.3).

5.6 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Le simulazioni condotte con il modello matematico uni-bidimensionale sul comportamento idraulico del tratto terminale del Livenza hanno consentito di esaminare il comportamento del fiume in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi, per verificare le condizioni di rischio idraulico in cui si trova il territorio adiacente, potenzialmente interessato da eventuali fenomeni di esondazione del fiume.

Con queste finalità la modellazione ha preso in esame la porzione del territorio compresa tra il confine della Provincia di Venezia a Nord, la linea di costa a Sud, l'argine del sistema Loncon - Lemene - Nicesolo, a Ovest, la Strada Provinciale 53 e 58, il C. Piavon, il C. Brian e la Strada Provinciale 54, a Est, per una superficie complessiva di circa 235 km².

Nella schematizzazione della rete idrografica, oltre al F. Livenza sono stati inseriti anche i corsi d'acqua secondari e i collettori della rete di bonifica e sono stati considerati i principali manufatti idraulici che controllano il funzionamento della rete minore.

Dati gli scopi dell'indagine, in questo caso finalizzata principalmente alla caratterizzazione del rischio idraulico connesso con le eventuali esondazioni del corso d'acqua principale, non si sono considerati i contributi delle precipitazioni dirette al suolo sul territorio esaminato, poichè le portate che queste possono generare nella rete minore sono di ordini di grandezza inferiori a quelle che potrebbero invece interessare la rete stessa nel caso di tracimazioni o rotte del Livenza.

La prima simulazione ha esaminato la propagazione nel Livenza di un'onda di piena con tempo di ritorno dell'ordine di 20 anni, con portata al colmo pari a 1050 m³/s alla sezione di Motta.

In tali ipotesi dal calcolo non sono emerse insufficienze per lo stato attuale delle arginature nel corso del Livenza, anche se i calcoli hanno mostrato che esistono alcuni tratti, soprattutto nelle immediate vicinanze di S. Stino, dove anche un evento grave ma non eccezionale come quello considerato può produrre riduzioni del franco oltre le soglie di sicurezza.

Un secondo gruppo di simulazioni ha riguardato l'esame delle modalità di propagazione di una piena con tempo di ritorno dell'ordine di 100 anni distinguendo i due casi in cui si considerino o meno i positivi effetti di riduzione dei colmi di piena dovuti all'utilizzazione dei serbatoi esistenti nei bacini montani del Cellina e del Meduna.

I calcoli eseguiti hanno confermato i risultati contenuti nelle indagini dell'Autorità di Bacino [8], presi come riferimento, secondo i quali allo stato attuale un evento di piena di tale gravità non sarebbe sostenibile dal tratto terminale del Livenza.

Il modello segnala infatti, che nel caso in cui non siano utilizzati i serbatoi montani, la piena di frequenza centenaria induce importanti tracimazioni degli argini nel tratto considerato del Livenza, sia in sinistra che in destra. Per il superamento delle arginature, in sinistra in particolare, si realizzano diffusi allagamenti nel territorio compreso tra il Livenza ed il F. Loncon, che investono gravemente l'abitato di S. Stino di Livenza.

Nel caso in cui si tenga conto dell'effetto dei serbatoi l'entità dell'allagamento si riduce, ma la località di S. Stino è, anche in questa situazione, interessata dalle esondazioni.

In un'ulteriore simulazione si sono analizzate le conseguenze di un'eventuale rotta di un tratto arginale in destra Livenza, dove il modello segnalava la presenza di esondazioni per tracimazione nella simulazione precedentemente esaminata. Si è ipotizzato in questo caso che si verifichi un vero e proprio collasso, con la quasi completa asportazione del corpo arginale per un'estesa di 50 m.

L'evento catastrofico ipotizzato determina ovviamente un significativo incremento dell'estensione delle superfici allagate rispetto al caso in cui gli argini resistono nonostante si

verifichi il loro sormonto, e soprattutto un aumento dell'altezza della lama d'acqua nei territori interessati dall'allagamento.

Le immagini che descrivono la progressione istantanea degli allagamenti mostrano infatti che le zone adiacenti alla rotta, altimetricamente più depresse, sono allagate rapidamente e su di esse si stabilisce una lama d'acqua con profondità anche maggiori di 3 m. L'onda di sommersione, avanzando sul territorio secondo la pendenza dei terreni, va ad investire gravemente gli abitati di Torre di Mosto e Prà di Levada. In questo caso si nota anche un aumento della velocità di propagazione del fronte di allagamento, che risulta quasi doppia rispetto a quella del caso precedente.

Si fa rilevare che, relativamente alle portate in ingresso alla sezione di Motta, i dati di riferimento assunti come condizioni al contorno per le simulazioni, sono stati ricavati dallo studio condotto per l'Autorità di Bacino [14]. Le simulazioni condotte in quello studio a causa del tipo di schema utilizzato non sono in grado di descrivere gli effetti delle esondazioni che gli eventi considerati possono produrre a monte del tratto fluviale considerato nel modello unidimensionale, in particolare nei tratti più critici del Meduna a valle di Pordenone. Conseguentemente le portate indicate per il Livenza a valle di Motta potrebbero essere maggiori di quelle che possono realmente verificarsi, dato che non si considerano, come si è detto, gli effetti di attenuazione delle portate massime prodotti da eventuali esondazioni a monte. Ciò nonostante i risultati delle simulazioni condotte sono egualmente significativi, poichè le portate considerate non sono verosimilmente molto lontane da quelle possibili e sono pienamente rispondenti alla realtà nel caso in cui si provvedesse al rinforzo delle arginature del Meduna a valle di Pordenone, in modo da contenere entro l'alveo del fiume piene confrontabili con quelle qui ipotizzate.

6 APPLICAZIONE DEL MODELLO AL TRATTO TERMINALE DEL F. PIAVE E AL TERRITORIO ADIACENTE

6.1 Caratteri idraulici del territorio

Il territorio indagato è schematicamente rappresentato nella corografia di Fig. 6.1.

La delimitazione del comprensorio è stata effettuata in modo da considerare il tratto di fiume Piave compreso entro il confine della provincia di Venezia, a partire da Zenson di Piave fino alla foce presso Cortellazzo, e tutte le aree adiacenti potenzialmente allagabili. Nel dettaglio, in destra idrografica, il limite del comprensorio segue l'argine del F. Vallio e poi, a partire dalla località Portegrandi, segue l'argine sinistro del F. Sile fino alla foce di Piave Vecchia.

In sinistra idrografica il confine del dominio di calcolo segue la strada S.P. 58 fino ad intercettare prima l'argine sinistro del Canale Piavon passando per Ceggia e poi l'argine sinistro del Canale Brian fino a Stretti. Da qui esso segue la strada S.P. 54 fino al mare.

L'area così individuata occupa complessivamente circa 380 km². I contorni esterni del dominio di calcolo sono stati assunti in corrispondenza dei rilevati stradali o ferroviari e dei corpi arginali dei corsi d'acqua che presumibilmente possono delimitare la propagazione delle acque in caso di esondazione del Piave.

Nel tratto in esame il corso del Piave assume caratteri differenziati. Nel primo tratto, fino a S. Donà, il corso del fiume scorre incassato ma fiancheggiato da espansioni golenali, spesso delimitate da arginature secondarie.

Nella parte più sinuosa la larghezza del fiume si riduce a meno di 100 m, la larghezza complessiva della sezione varia tra i 250 m e i 1000 m e l'incisione dell'alveo rispetto al piano golenale è di circa 10 ÷ 12 m, con valori massimi di circa 15 m in corrispondenza degli estradossi delle curve.

Tra Zenson di Piave e S. Donà la pendenza del fondo mediamente è pari a circa 0.5 ‰.

A valle di S. Donà e fino ad Eraclea il Piave segue un percorso rettilineo e la sua sezione trasversale ha una larghezza pressochè costante pari a circa 150 m. Il corso del fiume è incassato fra arginature che si elevano di circa 4 ÷ 5 m rispetto al piano campagna; l'alveo mediamente è profondo circa 10 m rispetto al piano di banca e occupa la gran parte della sezione, mentre le golene hanno una larghezza massima di qualche decina di metri.

Dal ponte di Eraclea alla foce il corso del fiume assume nuovamente un andamento sinuoso, caratterizzato da allargamenti della sezione in corrispondenza delle ultime anse.

Poco prima della foce a Cortellazzo il Piave è messo in comunicazione con il C. Cavetta, in destra, e con il C. Revedoli in sinistra attraverso due conche di navigazione, che allo stato attuale sono in disuso risultando pertanto sempre aperte.

Attualmente sono, comunque, in corso lavori per ripristinare il controllo del collegamento tra il F. Piave e il C. Revedoli tramite porte vinciane. Sulla base delle informazioni raccolte risulta che in caso di piena attualmente tale collegamento può essere chiuso, evitando che stati idrometrici eccezionalmente elevati nel Piave possano propagarsi anche lungo il C. Revedoli.

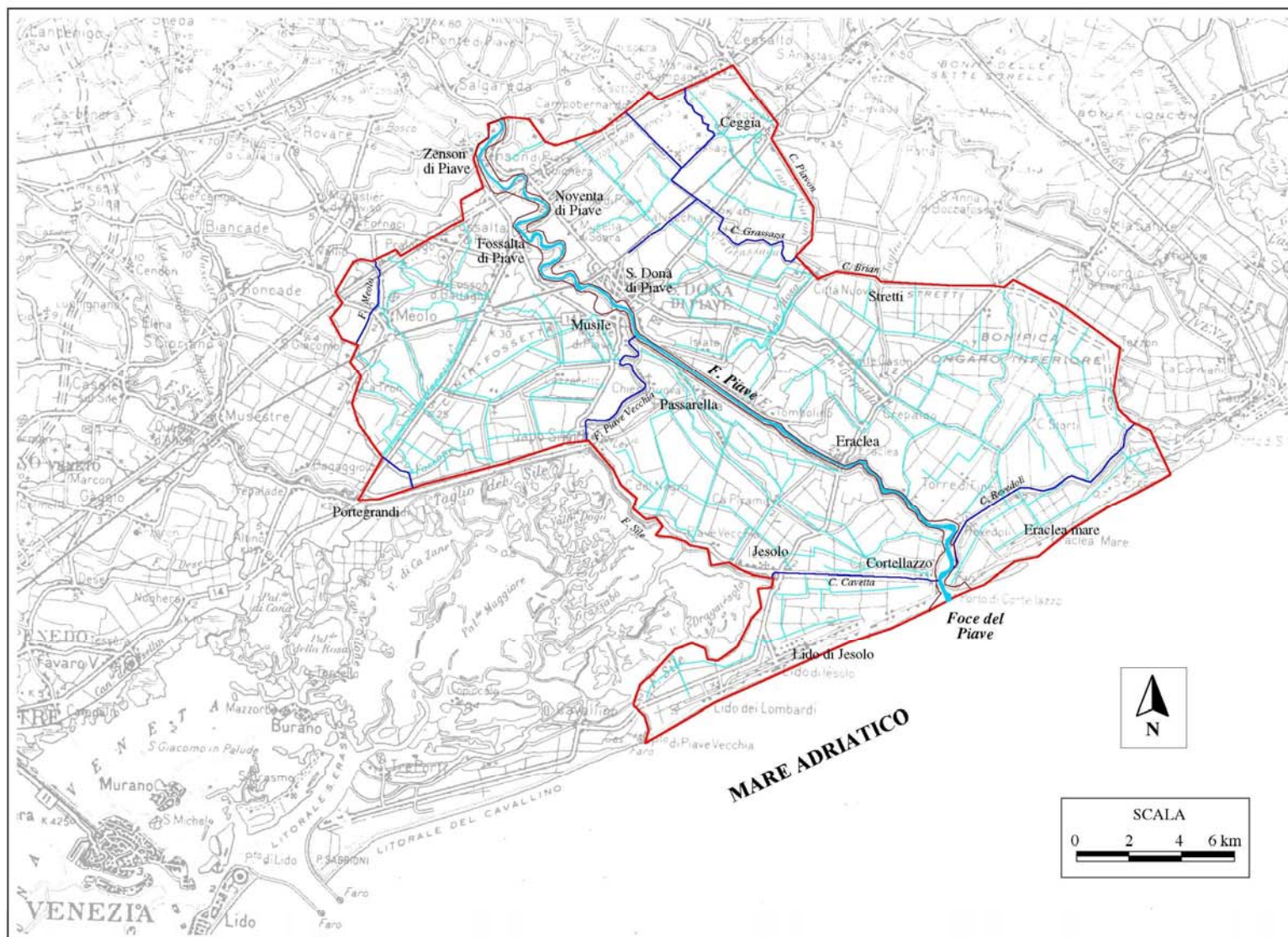


Fig. 6.1 - Corografia del tratto terminale del Fiume Piave e del territorio ad esso adiacente considerato nell'indagine.

6.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Come nei casi precedenti la morfologia del territorio è stata modellata, secondo la metodologia illustrata nel Capitolo 2, mediante elementi bidimensionali ed unidimensionali.

Elementi bidimensionali di dimensioni maggiori sono stati utilizzati per descrivere le aree di campagna, mentre elementi di dimensioni minori (fino a circa 10 m di lato) sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da variazioni altimetriche più sensibili, quali i rilevati (strade, ferrovie o altro) o gli alvei dei corsi d'acqua principali (il Fiume Piave, il Canale Bidoggia, il Canale Grassaga, il Canale Revedoli, il Canale Cavetta, il Fiume Meolo e la Piave Vecchia).

Gli elementi unidimensionali sono stati a loro volta utilizzati per descrivere i canali della rete di bonifica in base alle informazioni reperite presso i locali Consorzi di Bonifica (Consorzio della Destra Piave di Treviso e Consorzio del Basso Piave di S. Donà).

Tronchi speciali di tipo “soglia sfiorante” sono stati utilizzati, infine, per descrivere il flusso al di sopra degli argini dei corsi d'acqua principali nell'eventualità che si dovesse verificare la tracimazione o il cedimento degli argini stessi.

Nel territorio esaminato il deflusso delle acque meteoriche nelle aree pianeggianti avviene principalmente per sollevamento meccanico, mediante una serie di impianti idrovori ciascuno dei quali smaltisce gli apporti di un sottobacino tributario.

La Fig. 6.2 riporta la planimetria del bacino con l'indicazione dei principali collettori di ciascun sottobacino e della posizione dei citati impianti idrovori. La Tabella 6.1 riporta i dati essenziali di portata e delle quote di attacco e stacco dei gruppi pompa le cui caratteristiche di funzionamento sono state fornite dall'ente gestore (Consorzio Basso Piave). Dai dati riportati in tabella risulta che la somma delle portate massime che possono essere scaricate dalle idrovore ubicate nel comprensorio ammonta a $146 \text{ m}^3/\text{s}$.

Anche in questo caso il riferimento plano-altimetrico principale per la costruzione del modello matematico è costituito dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, della quale sono stati acquisiti tutti gli elementi relativi al territorio indagato in formato sia raster che vettoriale. Il piano quotato della Carta Tecnica ha consentito sia la suddivisione del dominio in elementi bidimensionali e unidimensionali, sia l'assegnazione delle quote altimetriche agli elementi bidimensionali. Con i files raster, inoltre, georeferenziati nello stesso sistema di riferimento della CTR, è stata costituita una base grafica sulla quale è stato digitalizzato il tracciato di tutti gli elementi morfologici rilevanti ai fini delle elaborazioni (Fig. 6.2). In particolare sono stati digitalizzati, oltre ai confini del comprensorio, i limiti dei centri abitati ed i tracciati degli elementi principali della rete viaria, selezionando tutti i rilevati ferroviari, le autostrade, le strade provinciali ed altri elementi (scarpate, dossi, rampe di ponti e cavalcavia), la cui conformazione in rilievo rispetto alla campagna circostante può verosimilmente costituire un significativo ostacolo alla propagazione dell'onda di sommersione sul terreno.

Sulla stessa base raster è stata digitalizzata anche la rete idrografica minore del territorio esterno agli argini del Piave.

Per individuare e caratterizzare i corsi d'acqua da inserire nel modello ci si è avvalsi principalmente dei dati riportati nello studio predisposto dall'Autorità di Bacino ai fini della determinazione delle aree di pertinenza idraulica del Piave [15]. In tale studio è riportata una schematizzazione del corso del Piave da Nervesa alla foce e del territorio adiacente potenzialmente allagabile attuata con un modello matematico uni-bidimensionale analogo a quello utilizzato in questo caso. I dati sulla rete idrografica ivi riportati coprono interamente la porzione in destra Piave dell'ambito territoriale indicato in Fig. 6.2, e una parte dei territori in

sinistra Piave. Per la rimanente parte orientale, approssimativamente ad est della linea costituita dal C. Grassagae dal C. Collettore Principale III, i dati relativi alla rete idrografica sono stati forniti direttamente dal Consorzio Basso Piave. Nello stesso studio sono anche riportati gli elementi essenziali delle sezioni del F. Piave e delle quote arginali, ricavate dai più recenti rilievi topografici esistenti.

Per una migliore lettura degli elementi principali appena descritti, della Fig. 6.2 è riportata una rappresentazione alla scala 1:50.000 nella allegata Tav. 5.

Il reticolo di calcolo risultante dalla schematizzazione è rappresentato in Fig. 6.3. La stessa figura, arricchita con l'indicazione dei nodi sui quali sono state poste le condizioni al contorno delle simulazioni, è riportata alla scala 1:50.000 nella allegata Tav. 6.

Complessivamente lo schema risulta composto da 7256 nodi, 12164 elementi bidimensionali, 1209 elementi unidimensionali, 795 tronchi speciali e 16 idrovore.

La Fig. 6.4 riporta una rappresentazione a colori della distribuzione delle quote assegnate agli elementi della mesh di calcolo.

Con riferimento all'altimetria del terreno, si nota che nella parte settentrionale del dominio del modello il territorio, approssimativamente fino all'altezza della Ferrovia Venezia - Trieste, è caratterizzato da una certa pendenza nella direzione del corso del Piave. Nella parte meridionale, invece, i terreni sono essenzialmente pianeggianti. Si osserva in particolare i territori su cui scorre il Piave risultino sopraelevati di qualche metro rispetto alla campagna circostante. Questa circostanza fa sì che eventuali esondazioni per tracimazioni o rotte del fiume siano destinate a propagarsi sui territori adiacenti seguendo la pendenza dei terreni, spingendosi anche a notevole distanza dal corso d'acqua.

I territori esterni al corso del fiume, occupati da campagne bonificate, hanno a loro volta quote medie inferiori al livello medio del mare e si possono riconoscere alcune zone, soprattutto nella parte occidentale verso Portegrandi e nella parte orientale verso Stretti, in cui i terreni sono soggiacenti rispetto al livello medio del mare di oltre 2 m. Tali depressioni si riducono nella parte più prossima al mare e le quote dei terreni si riportano al di sopra del livello medio marino lungo tutta la fascia litoranea.

Dalla Fig. 6.4 si nota infine che sono apprezzabilmente in rilievo rispetto ai territori adiacenti sia il corso della Piave Vecchia da Musile di Piave al Sile, sia le aree su cui si collocano le linee delle antiche difese del Piave, denominate Argine S. Marco e Argine di Mezzo. Tali elementi morfologici possono costituire, come si vedrà anche nei paragrafi successivi in cui si espongono i risultati delle simulazioni, significativi ostacoli alla propagazione di eventuali allagamenti sul territorio.

Per quanto riguarda, infine, i coefficienti di scabrezza secondo Strickler si sono assunti gli stessi adottati nello studio [15] condotto per conto dell'Autorità di Bacino. In particolare per quanto riguarda l'alveo del Piave, si è assunto un valore dei coefficienti pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nel tratto che va da monte fino a S. Donà, e di $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nel tratto terminale. Per le zone golenali i valori assunti sono pari a $12 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ a monte di S. Donà e a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nel tratto canalizzato prossimo alla foce.

Va precisato che i valori indicati non derivano da un vero e proprio procedimento di taratura ma dal confronto fra i risultati delle simulazioni e le osservazioni sui livelli massimi raggiunti in occasione del catastrofico evento del '66, e che sono quindi affetti da notevoli incertezze.

A questo riguardo, come è ben evidenziato anche dai risultati del citato studio promosso dall'Autorità di Bacino [15], una scelta appropriata dei coefficienti di scabrezza è cruciale nelle valutazioni delle massime altezze idrometriche raggiungibili in caso di piena in un tratto fluviale a debole pendenza e canalizzato come il corso terminale del Piave. Tale scelta dovrebbe essere

supportata da un congruo numero di misure sperimentali che, valutando simultaneamente le altezze idrometriche e le portate fluenti in diverse sezioni e, possibilmente, in diverse condizioni idrometriche, consentirebbe il confronto tra i risultati del calcolo e i dati reali.

I valori del coefficiente di scabrezza utilizzati per rappresentare il descrivere il territorio esterno al fiume principale sono a loro volta i medesimi utilizzati nei casi precedentemente esaminati. Tali valori sono variabili tra $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali, pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi in rilevato (strade, ferrovie, rilevati) e a $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per la restante parte del territorio (campagne, centri abitati).

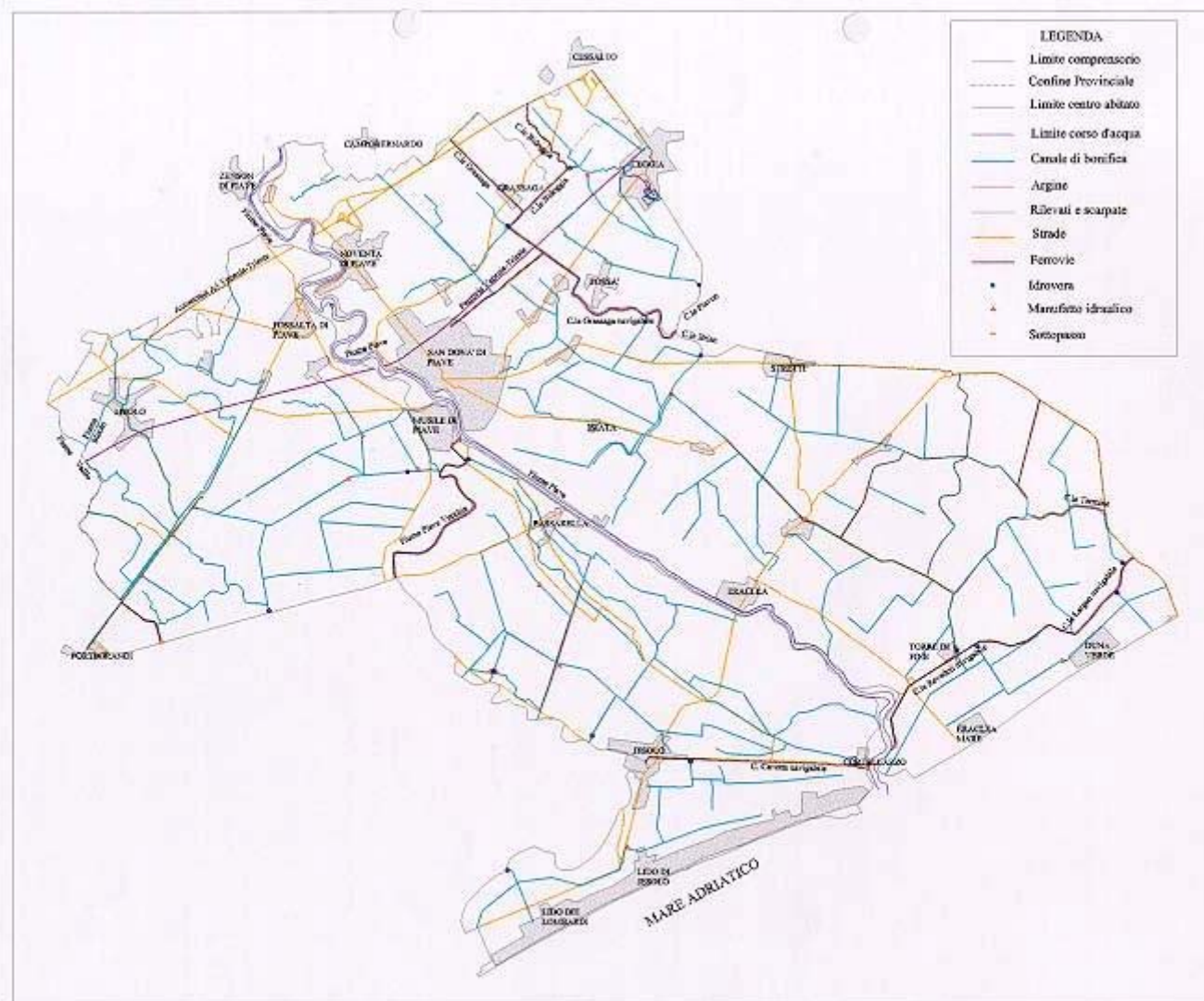


Fig.6.2 - Bacino del Piave. Schematizzazione del territorio considerato nell'indagine

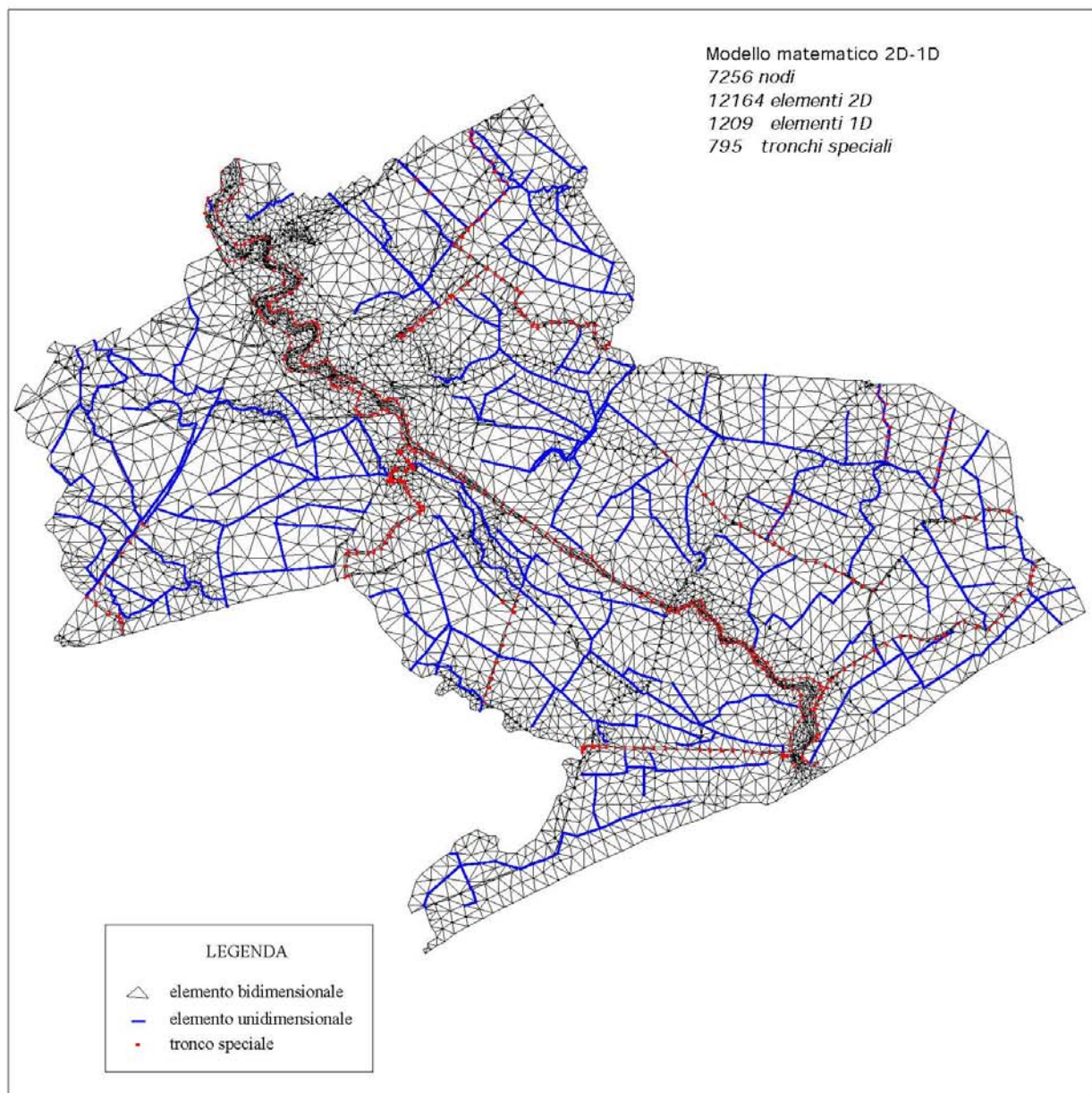


Fig. 6.3 - Modello matematico uni-bidimensionale del corso terminale del F. Piave e dei territori ad esso adiacenti. Schematizzazione del territorio con il reticolo di calcolo.

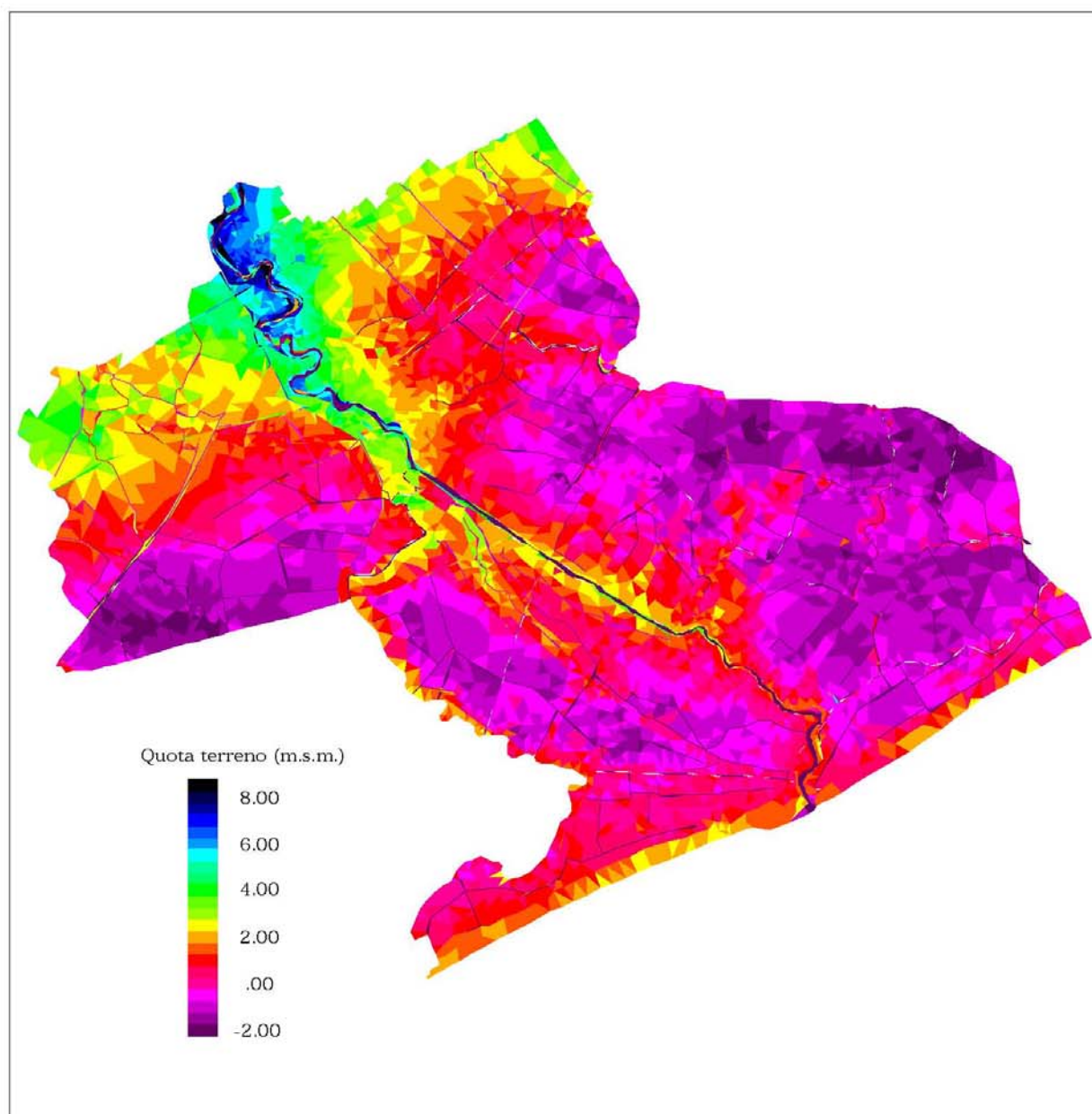


Fig. 6.4 - Modello matematico uni-bidimensionale del corso terminale del F. Piave e dei territori ad esso adiacenti. Schematizzazione della altimetria del territorio con il modello matematico.

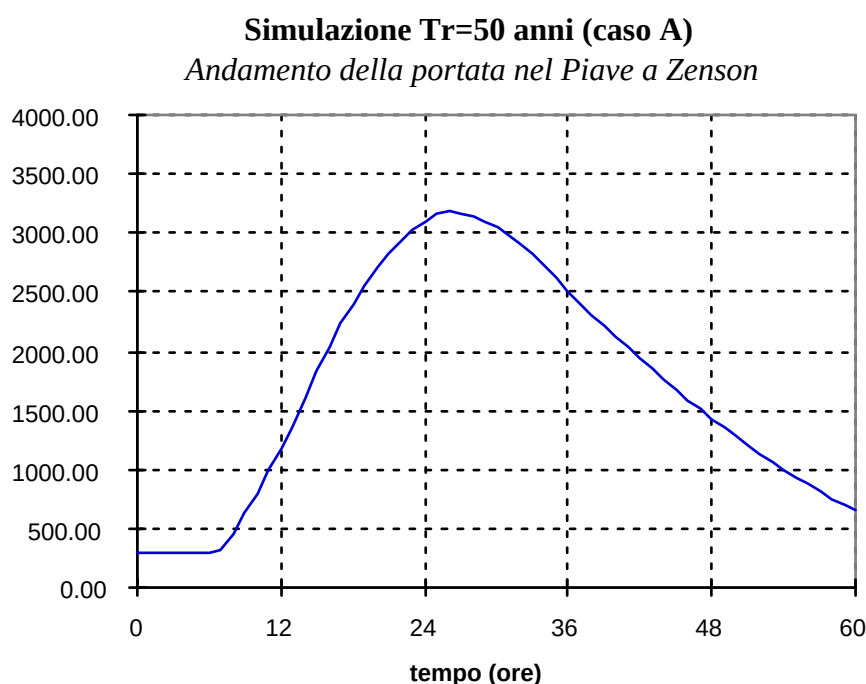
6.3 Caso A - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 50 anni

6.3.1 Premessa

In questa prima simulazione si è esaminata la propagazione di una ipotetica piena avente un tempo di ritorno di 50 anni.

Per valutare l'entità della portata massima corrispondente, si è fatto riferimento al già citato studio promosso dall'Autorità di Bacino [15]. In tale studio si valuta che alla sezione di Zenson una piena con tempo di ritorno cinquantenario produca una portata massima di circa 3200 m³/s. Sulla base di tale dato si è costruito un idrogramma di portata che descriva, in via ipotetica, un evento di piena della durata di 60 ore, che raggiunge al colmo proprio il valore massimo succitato.

La figura seguente illustra l'andamento della portata assegnata nella sezione di monte a Zenson.



Per quanto riguarda le condizioni al contorno sui nodi di valle dello schema, per essi si è assegnato un andamento del livello simile a quello di una normale marea di sizigia. Si è fatto riferimento, pertanto, ad un ipotetico mareogramma sinusoidale con periodo pari a 12 ore e ampiezza di 1 m oscillante attorno al livello medio del mare.

Le condizioni iniziali assunte prevedono per il Piave una portata costante di 300 m³/s, ed un livello di marea alla foce di 0.0 m s.l.m.. In questa situazione il campo di moto è tale da interessare solo l'alveo principale del Piave senza invaderne le golene.

Per descrivere in modo realistico il funzionamento della rete minore che solca la parte settentrionale del territorio indagato sono state assegnate delle condizioni al contorno di flusso entrante sui nodi di monte dei Canali Bidoggia, Grassaga, Cirkogno, Palombo e del Fiume Meolo.

6.3.2 *Caso A.1 - Esame della propagazione di una piena cinquantenaria ipotizzando alla foce una marea di sizigia ordinaria*

Nelle ipotesi indicate al punto precedente i risultati del calcolo sono sintetizzati nelle Figg. 6.5 e 5.6 che riportano l'andamento del livello idrometrico e della portata fluente calcolata in alcune sezioni significative lungo l'alveo.

L'andamento dei livelli (Fig. 6.5) si riferisce a 4 sezioni situate nel tratto del F. Piave compreso tra Zenson e la foce.

In corrispondenza della sezione di Zenson al passaggio del colmo della piena il sovrizzo massimo che si verifica rispetto alla quota idrometrica iniziale è pari a più di 9.5 m, con una quota idrometrica massima raggiunta pari a circa 12 m s.l.m..

Nelle sezioni di S. Donà e Eraclea, più vicine al mare, i sovrizzi massimi rispetto al livello iniziale sono di 7.4 e di 5 m, con quote idrometriche massime raggiunte di circa 8.1 e 5.1 m s.l.m., rispettivamente.

Si può osservare, inoltre, che l'effetto delle oscillazioni legate all'andamento della marea è praticamente impercettibile per la sezione di Zenson; nelle sezioni di S. Donà ed Eraclea tale effetto è riconoscibile solo nella fase iniziale della simulazione, quando le portate sono modeste, e va scomparendo al crescere delle portate in arrivo da monte.

La figura 6.7, che riporta il profilo dei livelli massimi calcolati che si stabiliscono lungo il corso del Piave nel corso della simulazione, indica che un evento come quello considerato è tale da mettere in crisi le arginature del Piave nel suo tratto terminale. Infatti si nota che i livelli massimi si mantengono al di sotto delle quote di sommità arginale per oltre 1.5 m all'altezza di Zenson di Piave; a valle, però, il franco si riduce progressivamente fino soli 30 cm in destra idrografica, attorno alla progressiva 18000 m, che si trova tra la sezione di Intestadura e l'abitato di Passarella. Più a valle le quote sommitali delle arginature sono tali da garantire un maggiore franco, che però mediamente non supera 1.0 m.

Nel corso della simulazione il modello non segnala dunque tracimazioni delle arginature maestre. Si verifica però il pressoché completo allagamento delle zone golenali lungo l'intero corso del F. Piave preso in considerazione.

Dal grafico di Fig. 6.6, che riporta l'andamento delle portate calcolate nelle sezioni in prossimità di Zenson, S. Donà e Eraclea, si ricava che la portata massima che investe la sezione di Zenson, posta subito a valle della sezione di monte della schematizzazione, è di poco inferiore a 3200 m³/s, con valore massimo raggiunto all'istante $t=26$ ore. Alle sezioni di S. Donà e Eraclea l'idrogramma della portata si differenzia da quello di Zenson per una modesta attenuazione nei valori massimi (di circa 60 m³/s), e per il ritardo cinematico che ammonta a circa 3 e 4 ore, rispettivamente.

6.3.3 *Caso A.2 - Esame della propagazione di una piena cinquantenaria ipotizzando alla foce un'alta marea eccezionale*

Un secondo caso esaminato riguarda la propagazione della stessa piena cinquantenaria descritta nei paragrafi precedenti, ma assegnando sul contorno alla foce del Piave un livello variabile secondo un andamento sinusoidale con periodo pari a 12 ore e ampiezza di 1 m oscillante, questa volta, attorno al livello +1.0 m s.l.m.. In questo modo si sono voluti esaminare gli effetti sugli stati idrometrici massimi che si determinano nel corso terminale del Piave quando in mare si verifica un'alta marea eccezionale con valore massimo di 1.5 m s.l.m..

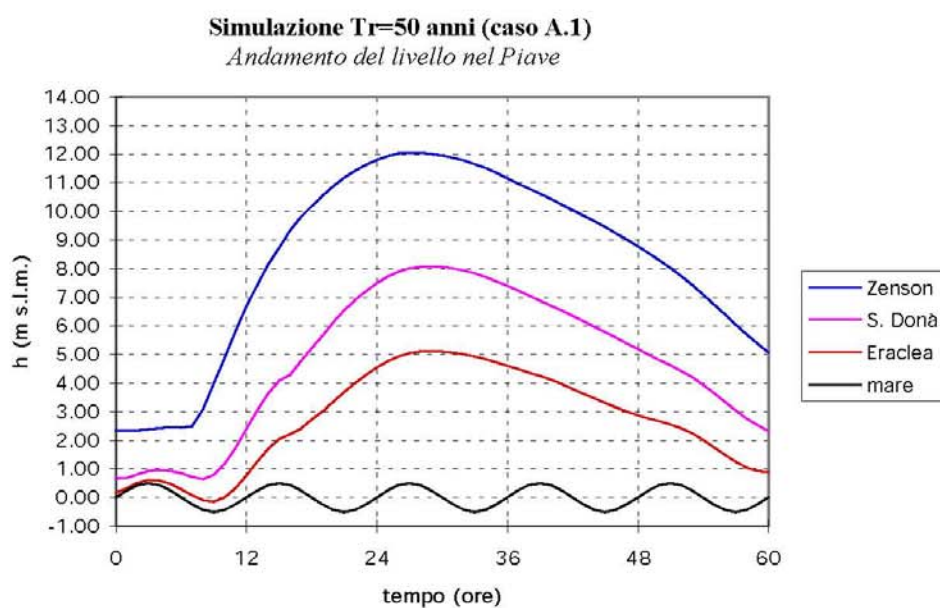


Fig. 6.5 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con Tr=50 anni (caso A.1)

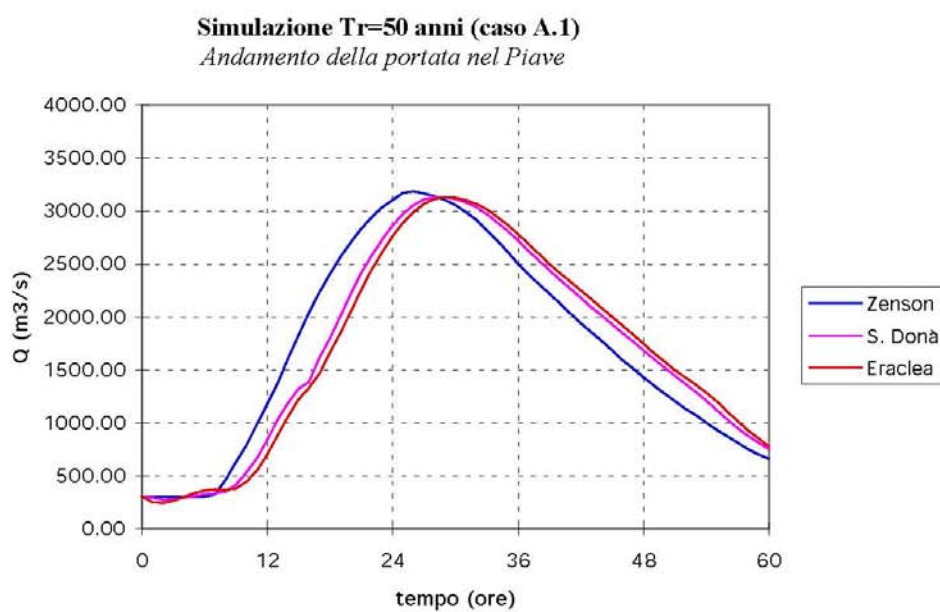


Fig. 6.6 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con Tr=50 anni (caso A.1)

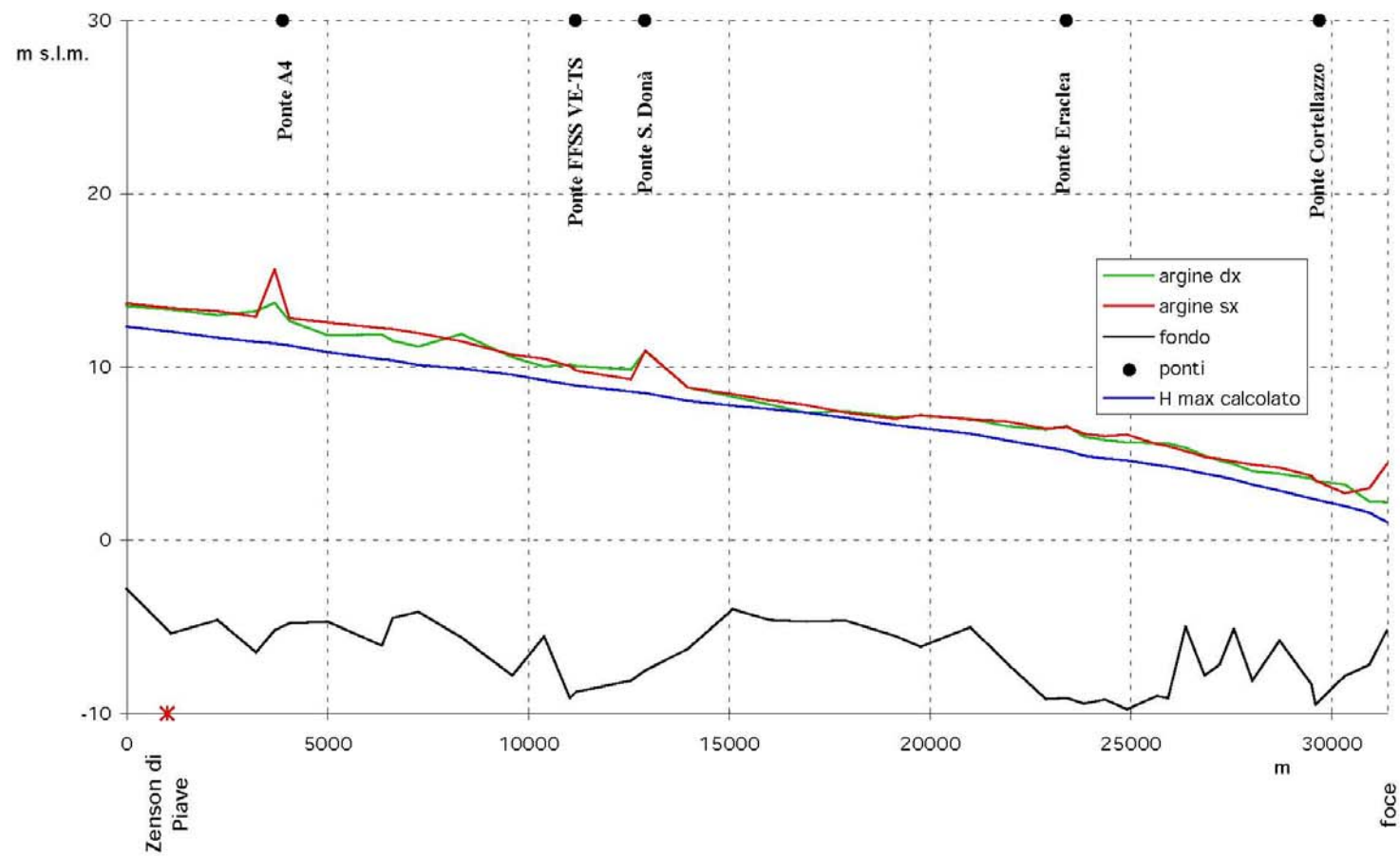


Fig. 6.7 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione con $T_r=50$ anni (caso A.1)

Le condizioni iniziali per il Piave prevedono, in questo caso, uno stato di moto permanente con portata costante di $300 \text{ m}^3/\text{s}$, ed un livello di marea alla foce di $+1.0 \text{ m s.l.m.}$. Per quanto riguarda tutte le altre condizioni al contorno, esse sono state mantenute invariate rispetto al precedente caso A.1.

Le Figg. 6.8 e 6.9 illustrano alcuni risultati significativi della simulazione.

Con riferimento ai livelli idrometrici (Fig. 6.8) l'effetto della marea, che induce sensibili oscillazioni del livello, è limitato alle fasi iniziali e finali della simulazione, quando le portate in arrivo da monte non sono troppo elevate e le quote idrometriche sono maggiormente influenzate dai livelli di valle.

Se si confronta tale grafico con quello corrispondente relativo al caso A.1 (Fig. 6.8) si osserva che i valori idrometrici massimi sono pressoché coincidenti nei due casi sia per la sezione di Zenson che per quella di S. Donà. Una modesta differenza, di soli 10 cm, si osserva alla sezione di Eraclea, che si colloca a meno di 10 km dalla foce.

I risultati del calcolo confermano, pertanto, che per portate elevate come quelle qui considerate gli effetti della marea sui livelli idrometrici massimi raggiunti sono limitati al tratto del fiume più prossimo alla foce e diventano praticamente trascurabili all'altezza di S. Donà.

Per quanto riguarda l'andamento della portata nel tratto di F. Piave considerato (Fig. 6.9) non si notano sensibili differenze con il caso A.1 (Fig. 6.6).

In Fig. 6.9 è stata rappresentata anche l'andamento delle portate in una sezione prossima alla foce, in modo da mettere in evidenza le eventuali variazioni della portata rispetto alla sezioni de Eraclea, dovute alle confluenze con C. Cavetta e C. Revedoli. Per quanto riguarda quest'ultimo canale, sul nodo che lo collega al Piave si è posto, come si è detto in precedenza, un dispositivo di tipo "porte vinciane", in modo da impedire il deflusso delle portate di piena del Piave lungo il C. Revedoli stesso. Tale dispositivo di fatto esclude il collegamento tra Piave e C. Revedoli durante le fasi di massima piena, mettendo il corso di quest'ultimo in condizioni di sicurezza. Per quanto riguarda il Cavetta, invece, il collegamento con il Piave risulta sempre aperto, e quindi in caso di piena del fiume maggiore, è probabile che si possano verificare condizioni di rischio idraulico lungo il corso del Cavetta, per effetto di persistenti stati idrometrici elevati.

Il grafico di Fig. 6.9 mostra che tra la sezione di Eraclea e quella alla foce si registra una leggera diminuzione della portata al colmo (di circa $25 \text{ m}^3/\text{s}$), e tale riduzione è dovuta proprio alle portate che deviano per il Cavetta attraverso il varco.

Nel corso della presente simulazione risulta che il franco minimo che si instaura lungo il Cavetta è mediamente di circa 25 cm arrivando anche, in alcuni tratti, quasi al limite dell'annullamento. Sulla base dei calcoli, pertanto, pur non riscontrandosi tracimazioni, si segnalano condizioni estermamente critiche del corso d'acqua in questione, potendosi verosimilmente verificare, per portate come quelle qui considerate o più gravose, all'annullamento del franco arginale.

Va sottolineato al riguardo che non sono risultate disponibili sezioni aggiornate dell'alveo e delle arginature del Cavetta, e pertanto la descrizione di questo corso d'acqua nel modello è stata effettuata utilizzando gli elementi reperibili dalla CTR. In base a tali elementi, le sommità arginali del Cavetta in destra ed in sinistra idrografica, sono state assunte variabili tra la quota 2.3 m e 2.1 m, tranne per il primo tratto a partire dalla confluenza con il Piave, in cui tali quote sono, anche se di poco, superiori. Pur ritenendo verosimili i dati implementati, è evidente che le valutazioni ottenute sono solo indicative, e che dovranno in futuro essere approfondite sulla base di dati più completi ed aggiornati.

La Fig. 6.10 riporta il profilo dei livelli massimi calcolati che si stabiliscono lungo il corso del Piave oggetto di indagine. Tale grafico non differisce sostanzialmente da quello relativo al

precedente caso A.1 (Fig. 6.7). Si nota infatti che i livelli idrometrici massimi si mantengono al di sotto delle quote di sommità arginale per circa 1 metro all'altezza di Zenson; più a valle progressivamente il franco idraulico si riduce fino praticamente ad annullarsi in destra idrografica attorno alla progressiva 18000 m (poco a monte di Passarella) a causa sia delle sommità arginali leggermente più depresse rispetto a quelle dei tratti adiacenti sia di una certa tendenza del fondo a rialzarsi. Nel tratto più prossimo alla foce, infine, per un incremento delle quote arginali stesse, il franco idraulico torna ad incrementarsi rimanendo comunque inferiore a 1.0 m.

I territori considerati, adiacenti alle arginature del Piave non sono interessati da allagamenti nonostante che il livello massimo raggiunga la sommità arginale in destra idrografica a valle di S. Donà, in prossimità di Passarella.

Al passaggio del colmo della piena, tuttavia, vengono ampiamente allagate le aree di espansione golenale, aree che poi, in parte, si prosciugano nella fase di esaurimento della piena stessa.

Un'ultima osservazione, infine, riguarda le zone costiere, in sinistra idrografica, fino alla S.P. 90 per le quali il modello segnala in alcuni punti degli allagamenti.

Emerge dal calcolo che queste aree, non interessate da allagamenti nel precedente caso A.1, risultano potenzialmente a rischio nel caso in cui l'evento di piena particolarmente gravoso si verifichi in concomitanza con quote idrometriche eccezionalmente elevate alla foce per effetto della marea o di una mareggiata.

Anche in questo caso i risultati delle simulazioni soffrono peraltro di alcune incertezze legate al dettaglio della schematizzazione che, inevitabilmente, soffre di alcune approssimazioni. Soprattutto nella zona adiacente alla foce del Piave la valutazione delle possibilità di allagamenti in occasione di eventi di piena eccezionali e eccezionali stati di alta marea potrebbe essere ulteriormente affinata con indagini locali, appoggiate su rilievi aggiornati delle quote sommitali delle difese arginali e delle difese a mare.

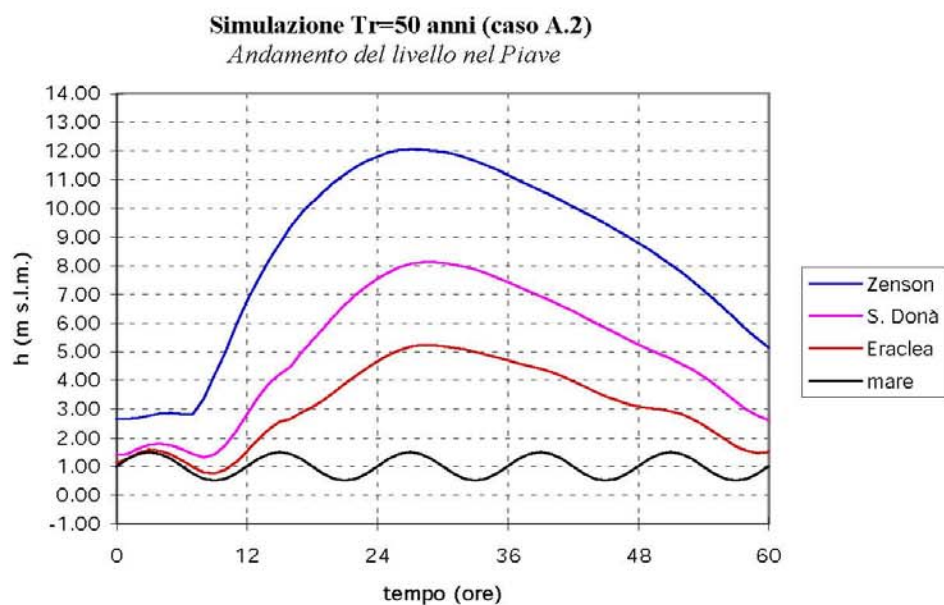


Fig. 6.8 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con $T_r=50$ anni e alta marea alla foce (caso A.2)

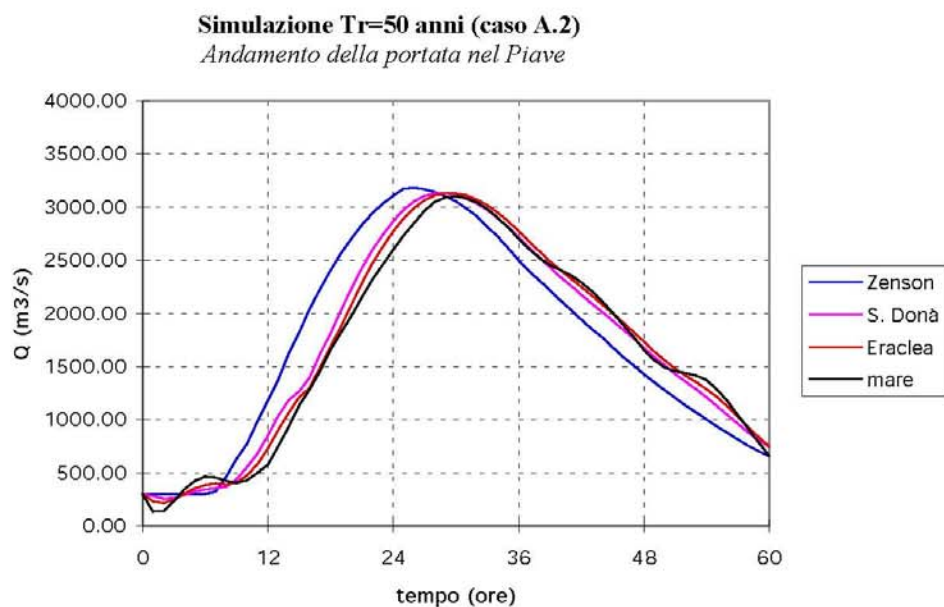


Fig. 6.9 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con $T_r=50$ anni e alta marea alla foce (caso A.2)

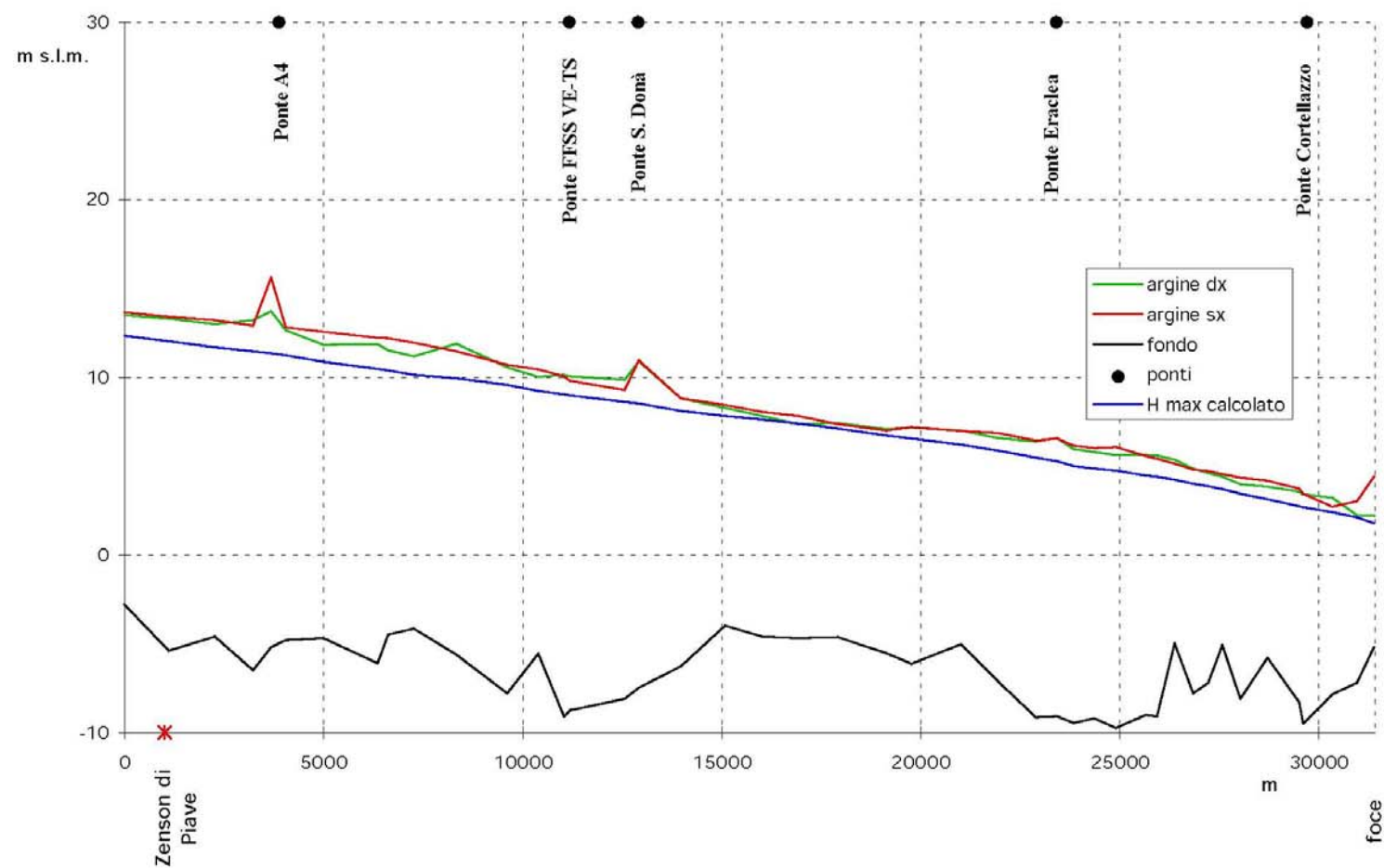


Fig. 6.10 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione con $Tr=50$ anni e alta marea eccezionale (caso A.2)

6.4 Caso B - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 100 anni

6.4.1

Premesse

La propagazione di un'onda di piena caratterizzata da tempo di ritorno pari a circa 100 anni, è stata esaminata considerando, come al punto precedente, un'ipotetica marea di sizigia avente andamento sinusoidale con periodo pari a 12 ore e ampiezza di 1 m oscillante attorno al livello +1 m s.l.m.. L'andamento della portata sui nodi di monte del modello è analogo a quello del precedente caso A, ma i valori assoluti della portata sono stati opportunamente incrementati in modo da ottenere, per il colmo, un valore pari a $3700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tale portata massima è stata ricavata dal più volte citato studio promosso dall'Autorità di Bacino [15], in cui sono state esaminate piene diverse, tra cui quella del 1966 che può essere caratterizzata con tempo di ritorno di circa 100 anni.

Per tale piena, che per il Piave a Nervesa produce una portata massima di circa $4800 \text{ m}^3/\text{s}$, nello studio [15] è esaminata la propagazione lungo tutto il corso terminale del Piave, e sono stati individuati dei tratti del fiume, principalmente a ridosso di Ponte di Piave, in cui gli argini vengono superati dalle quote idrometriche massime, con consistenti esondazioni sia in destra che in sinistra. A causa di tali esondazioni la portata fluente si riduce considerevolmente, e risulta appunto che a valle di Zenson transitano, al massimo, $3700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le condizioni iniziali prevedono, ancora, per il Piave una portata costante di $300 \text{ m}^3/\text{s}$, ed un livello di marea alla foce di +1 m s.l.m., mentre per quanto riguarda tutte le altre condizioni al contorno, esse sono state mantenute invariate rispetto al precedente caso A.

6.4.2 *Caso B.1 - Esame della propagazione di una piena centenaria ipotizzando alla foce un'alta marea eccezionale*

I risultati del calcolo sono riportati nelle Fig. 6.11 e 6.12 nelle quali sono rappresentati l'andamento del livello idrometrico e della portata fluente calcolati dal modello nelle medesime sezioni considerate in precedenza.

Il primo grafico (Fig. 6.11) evidenzia che in corrispondenza di Zenson il livello della piena raggiunge, al massimo, quasi 13 m s.l.m., con un sovrizzo del pelo libero, rispetto alla quota idrometrica iniziale, di circa 10 m. Procedendo verso valle il sovrizzo massimo va diminuendo fino a raggiungere i 7 m a S. Donà e i 4 m a Eraclea, dove il livello idrometrico massimo è di circa 8.5 m s.l.m. e 5.5 m s.l.m., rispettivamente.

Il profilo involuppo dei livelli idrometrici massimi riportato in Fig. 6.13 mette in evidenza che, nelle ipotesi assunte, i livelli idrometrici fino a S. Donà di Piave si mantengono mediamente al di sotto delle quote di sommità arginale per circa 0.5 m, ma in alcuni punti, soprattutto a monte del ponte di S. Donà, il franco si riduce a pochi centimetri. A valle di S. Donà, nel tratto a monte di Passarella già individuato come critico nei casi precedenti, i livelli massimi superano la sommità arginale in destra, e da ciò conseguono consistenti tracimazioni verso la campagna adiacente.

In prossimità della foce, infine, le quote idrometriche massime si mantengono al di sotto delle arginature destra e sinistra per circa 0.6 m e 0.7 m, rispettivamente.

Sulla base dei calcoli per l'effetto delle tracimazioni in destra fuoriesce una portata massima di quasi $370 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume complessivo esondato, nell'arco delle circa 12 per cui si protrae l'esondazione, ammonta a poco più di 10 milioni di m^3 .

La successiva Fig. 6.14 illustra la progressione degli allagamenti con alcune immagini tratte dalla sequenza animata prodotta dal modello. La sequenza completa, memorizzata in forma di

animazione su supporto magnetico e allegata, può fornire una migliore visualizzazione del fenomeno. Dalle immagini di Fig. 6.14 si nota comunque che l'allagamento tende ad estendersi parallelamente al corso terminale del Piave sommergendo le campagne adiacenti. I canali di bonifica, che nelle ipotesi assunte sono inizialmente riempiti solo parzialmente, costituiscono delle vie preferenziali di propagazione per l'onda di sommersione, che si estende rapidamente verso Sud investendo l'abitato di Passarella e raggiungendo il paese di Cortellazzo, e poi verso Sud - Ovest lambendo quasi l'abitato di Jesolo. Sono necessarie circa 20 ore perché l'acqua esondata arrivi ad allagare i territori adiacenti al C. Cavetta a Cortellazzo, da cui risulta che la velocità con cui avanza l'onda di sommersione è mediamente di 0.15 m/s.

Nella simulazione le acque che allagano il territorio e che invasano la rete minore possono essere smaltite dagli impianti idrovori esistenti sul territorio.

Nel caso esaminato il modello segnala l'entrata in funzione delle idrovore Pesarona e Jesolo poichè nei collettori che ad esse afferiscono per effetto dell'inondazione i livelli si innalzano oltre le quote d'attacco delle pompe; lo smaltimento delle acque, comunque, risulta difficoltoso perché le aree allagate si collocano nella fascia adiacente all'argine destro del Piave delimitata verso occidente dai rilevati dell'Argine S. Marco e Argine di Mezzo, e le acque possono raggiungere gli impianti idrovori, che si trovano a grande distanza dalle zone allagate, solo lungo i canali di bonifica che attraversano tali elementi in rilievo (C. Bova Rosa e C. Collettore III^o). Una stima approssimativa del tempo necessario per smaltire le acque che fuoriescono dalle arginature del Piave può essere effettuata calcolando il tempo necessario perchè le idrovore presenti sul territorio allagato possano scaricare il volume complessivo. In questo caso, stimato tale volume in 10^7 m^3 , le idrovore Pesarona e Jesolo, che nel loro complesso possono sollevare al massimo circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$, impiegherebbero circa 6 giorni.

Con riferimento alla stessa Fig. 6.14, si osserva che il modello indica alcune zone allagate nelle immediate adiacenze di alcuni dei canali della rete minore, non in relazione con l'esondazione del Piave. Va detto che la causa di questi allagamenti, non imputabile ad insufficienze dei canali della rete minore dal momento che, come si è detto, la simulazione ha ipotizzato che nella rete fluiscano portate modeste e costanti, è probabilmente imputabile ad una non corretta riproduzione delle quote altimetriche del terreno nelle immediate adiacenze dei canali stessi. Future simulazioni finalizzate all'esame dei fenomeni di allagamento legati alle insufficienze della rete di bonifica, dovranno pertanto essere precedute da una attenta verifica delle quote altimetriche e della geometria dei canali della rete, in modo da riprodurre in modo più accurato il reale comportamento idraulico in caso di piena.

Per quanto riguarda il C. Cavetta, che anche nel precedente caso A era risultato in condizioni critiche per gli elevati stati idrometrici nel Piave, va detto che la maggiore gravità dell'evento che caratterizza questo caso B non provoca penalizzazioni aggiuntive. Infatti i livelli idrometrici del Piave all'incile del Cavetta, a causa delle abbondanti esondazioni che si verificano a monte, non si rialzano in modo apprezzabile rispetto al caso precedente e quindi le quote idrometriche massime nel canale si mantengono ancora al di sotto delle sommità arginali, sia pur di pochi centimetri, senza dar luogo a tracimazioni.

6.4.3 *Caso B.2 - Esame della propagazione di una piena centenaria ipotizzando alla foce un'alta marea eccezionale e simulando il cedimento di un tratto arginale del C. Cavetta*

Sempre con riferimento alla piena centenaria è stata condotta una seconda simulazione nell'ipotesi che lungo il C. Cavetta si verifichi un crollo di un tratto di argine sul lato Nord in un

tratto in cui, nei casi precedenti, i calcoli avevano evidenziati pericolose riduzioni del franco arginale fino quasi al suo annullamento.

Nel modello la rotta é stata simulata mediante l'abbassamento della sommità arginale per un'estesa di 50 m. L'argine in questione, che originariamente ha una quota in sommità di 2.26 m s.l.m., é abbassato di circa 1.8 m fino a portarlo a circa 0.5 m dal piano campagna esterno.

Nella simulazione si é ipotizzato che il crollo si realizzi nell'arco di 1 ora a partire dall'istante $t=27$ ore, istante in cui si raggiunge il livello idrometrico massimo in questa sezione del C. Cavetta.

Non essendo significativo, in questo caso, rappresentare i grafici dell'andamento del livello e della portata nelle sezioni lungo il Piave, perchè sostanzialmente coincidenti con quelli del precedente caso A.1, nelle Figg. 6.15 e 6.16 sono rappresentati i grafici degli andamenti idrometrici e delle portate nelle sezioni del Cavetta a monte e a valle della rotta considerata.

Dall'andamento delle portate (Fig. 6.16) si é potuto calcolare che nell'intervallo di tempo che va dall'istante $t=27$ ore all'istante $t=60$ ore il volume che fuoriesce dall'alveo attraverso una breccia di proporzioni come quelle ipotizzate é dell'ordine dei 6.4 milioni di m^3 mentre la portata massima in uscita é di circa $100 m^3/s$.

E' interessante, al riguardo, analizzare la progressione planimetrica degli allagamenti nel territorio adiacenti al Cavetta nelle ipotesi assunte, sulla base della sequenza animata riprodotta dal modello, di cui in Fig. 6.17 sono riportate alcune immagini.

Si possono individuare, in particolare, i territori interessati dall'allagamento per le portate che fuoriescono dalla breccia tra i paesi di Cortellazzo e Jesolo. Tali territori sono, in tempi successivi investiti, anche dagli allagamenti prodotti dall'esondazione del Piave a valle di S. Donà, la cui entità in questo caso è analoga a quella della simulazione precedente B.1. Le campagne interessate (nel Bacino Cavazuccherina) hanno quote mediamente inferiori al livello medio del mare, e su di esse a causa dell'allagamento si stabilisce una lama d'acqua consistente, che supera il metro d'altezza.

Le mappe relative alla progressione degli allagamenti mostrano inoltre che l'evento considerato è tale da investire, sia pur parzialmente, l'abitato di Jesolo, che si trova a circa 3 km dalla rotta ipotizzata. Le zone abitate comprese tra l'argine Nord del canale Cavetta e la S.P. 42 sono sommerse, a loro volta, da una lama d'acqua di circa 1.3 m, mentre le aree a Ovest della S.P. 42 sono solo marginalmente allagate grazie, da una parte all'ostacolo offerto dalla strada provinciale che funge da barriera nella propagazione delle acque, dall'altra alla locale altimetria dei terreni che vede l'abitato svilupparsi ad una quota mediamente superiore rispetto alle campagne adiacenti.

Anche in questo caso i tempi necessari per smaltire le acque ad opera delle idrovore presenti sul territorio risulterebbero assai prolungati. Una stima basata sulla portata massima dell'idrovora Jesolo (portata massima circa $12 m^3/s$), finalizzata a smaltire solamente gli allagamenti originati dalla rotta del Cavetta (volume circa $6.4 \cdot 10^6 m^3$) porta a tempi dell'ordine di 6 - 7 giorni.

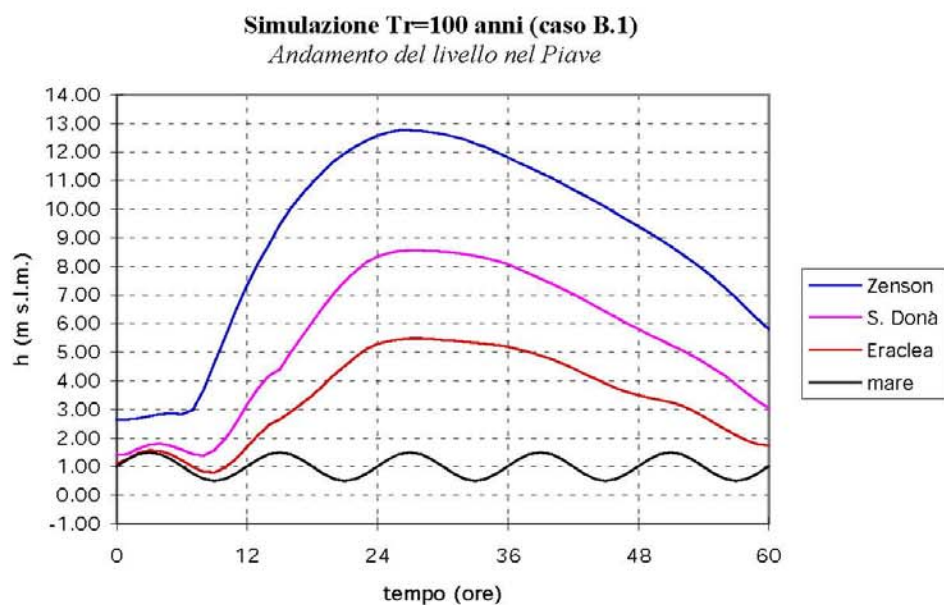


Fig. 6.11 - Andamento del livello in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con Tr=100 anni (caso B.1)

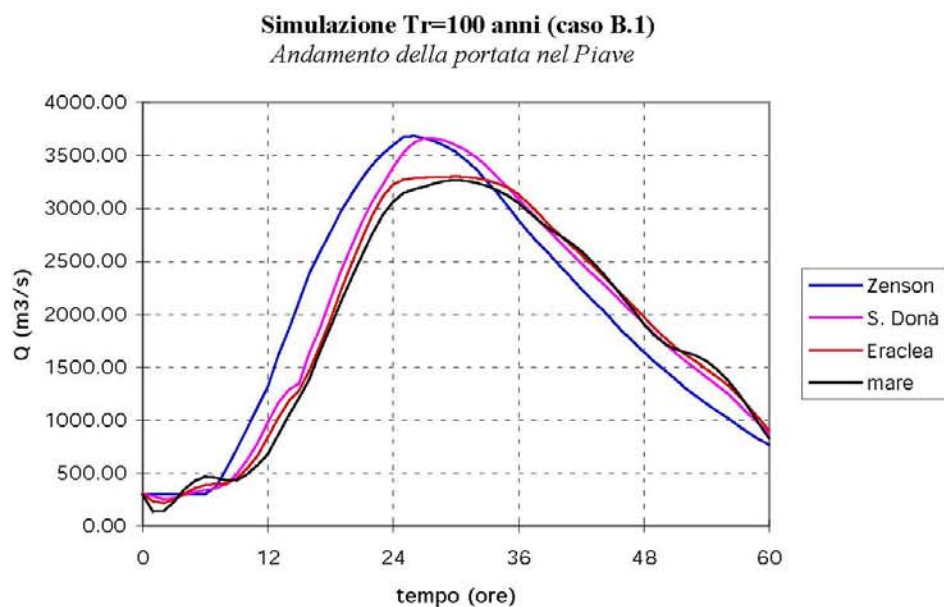


Fig. 6.12 - Andamento della portata in alcune sezioni del F.Piave nella simulazione con Tr=100 anni (caso B.1)

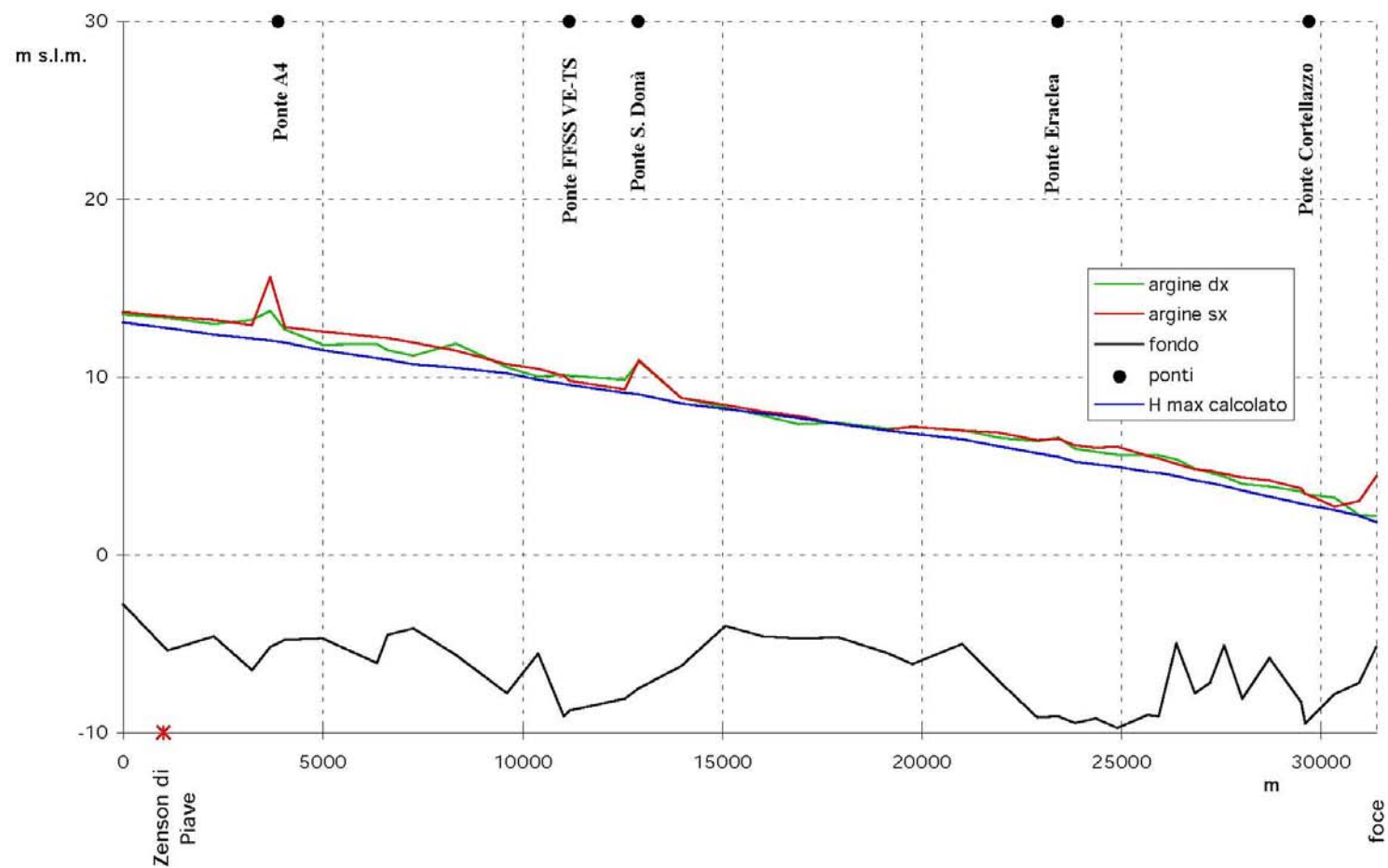


Fig. 6.13 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione con $Tr=100$ anni (caso B.1)

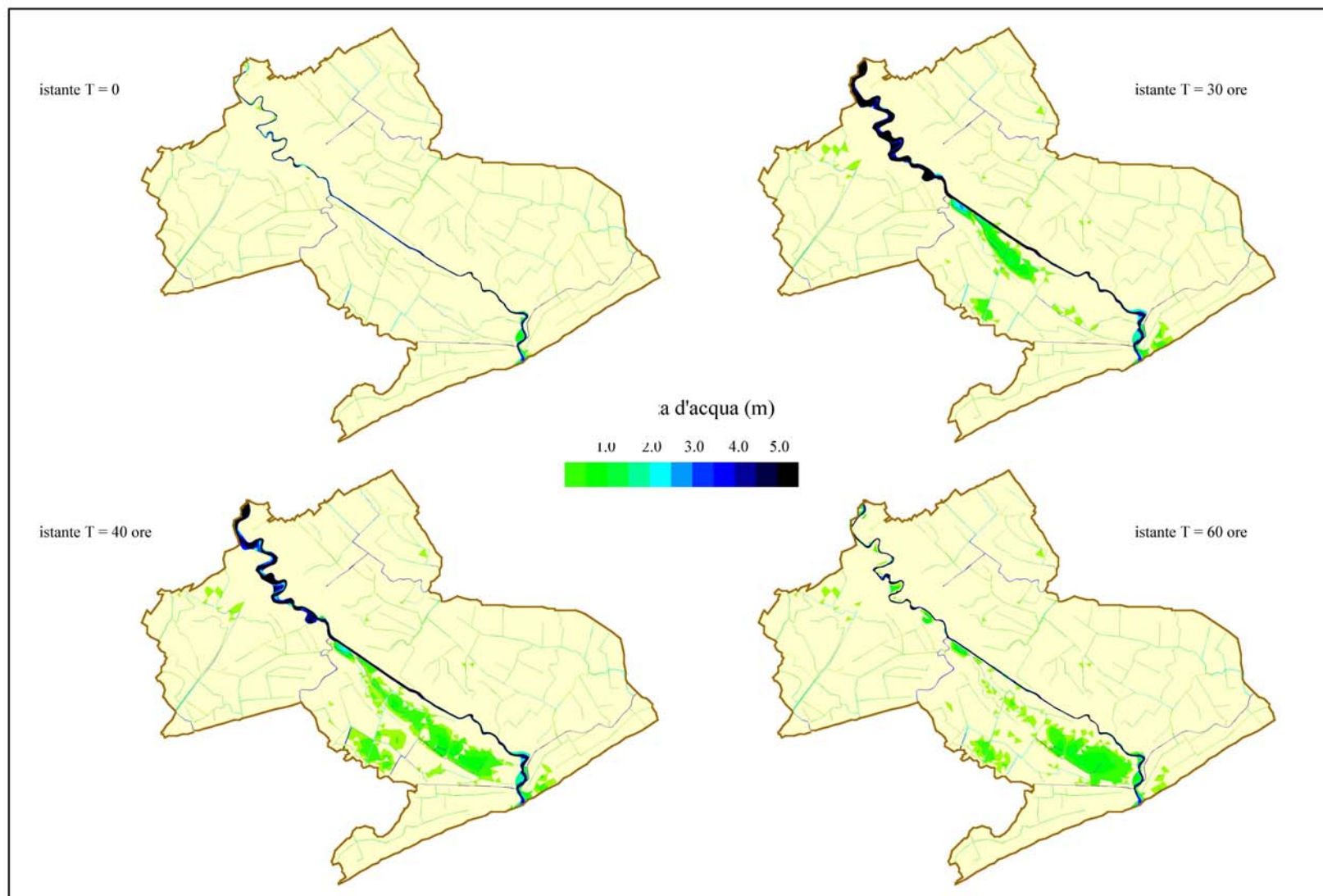


Fig. 6.14 - Bacino del Piave. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 100$ anni (caso B.1).

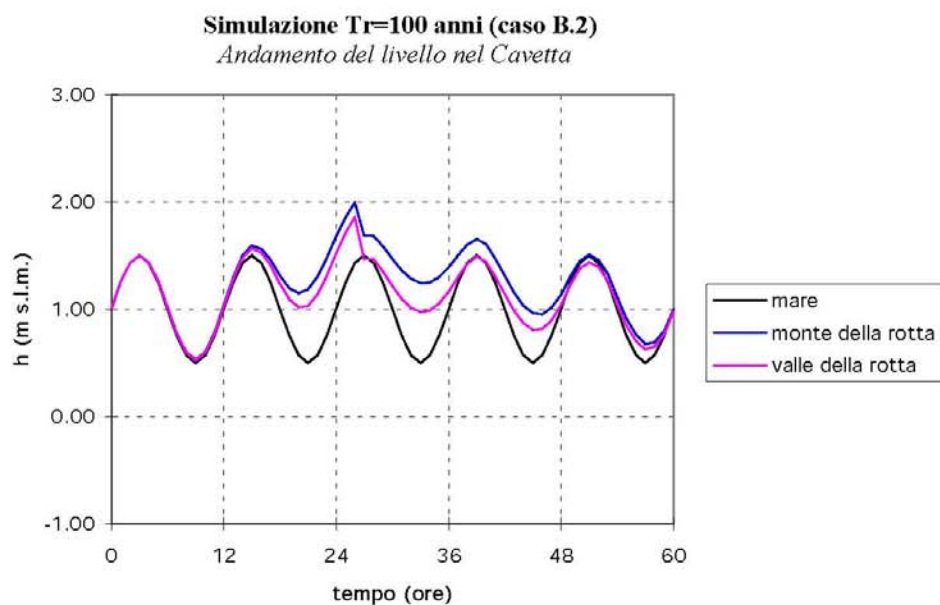


Fig. 6.15 - Andamento del livello nella sezione a monte e a valle della rotta del C. Cavetta nella simulazione con Tr=100 anni (caso B.2)

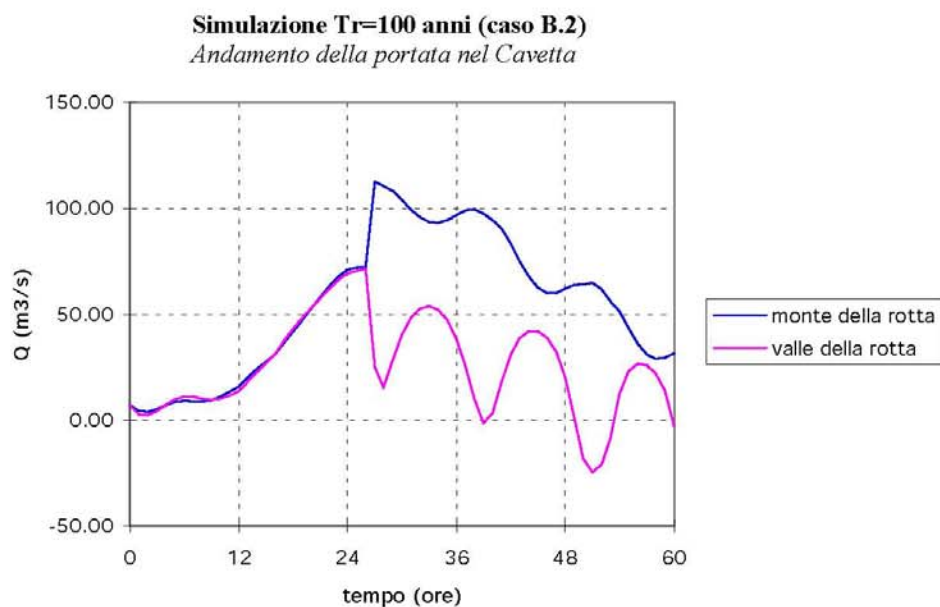


Fig. 6.16 - Andamento della portata nella sezione a monte e a valle della rotta del C. Cavetta nella simulazione con Tr=100 anni (caso B.2)

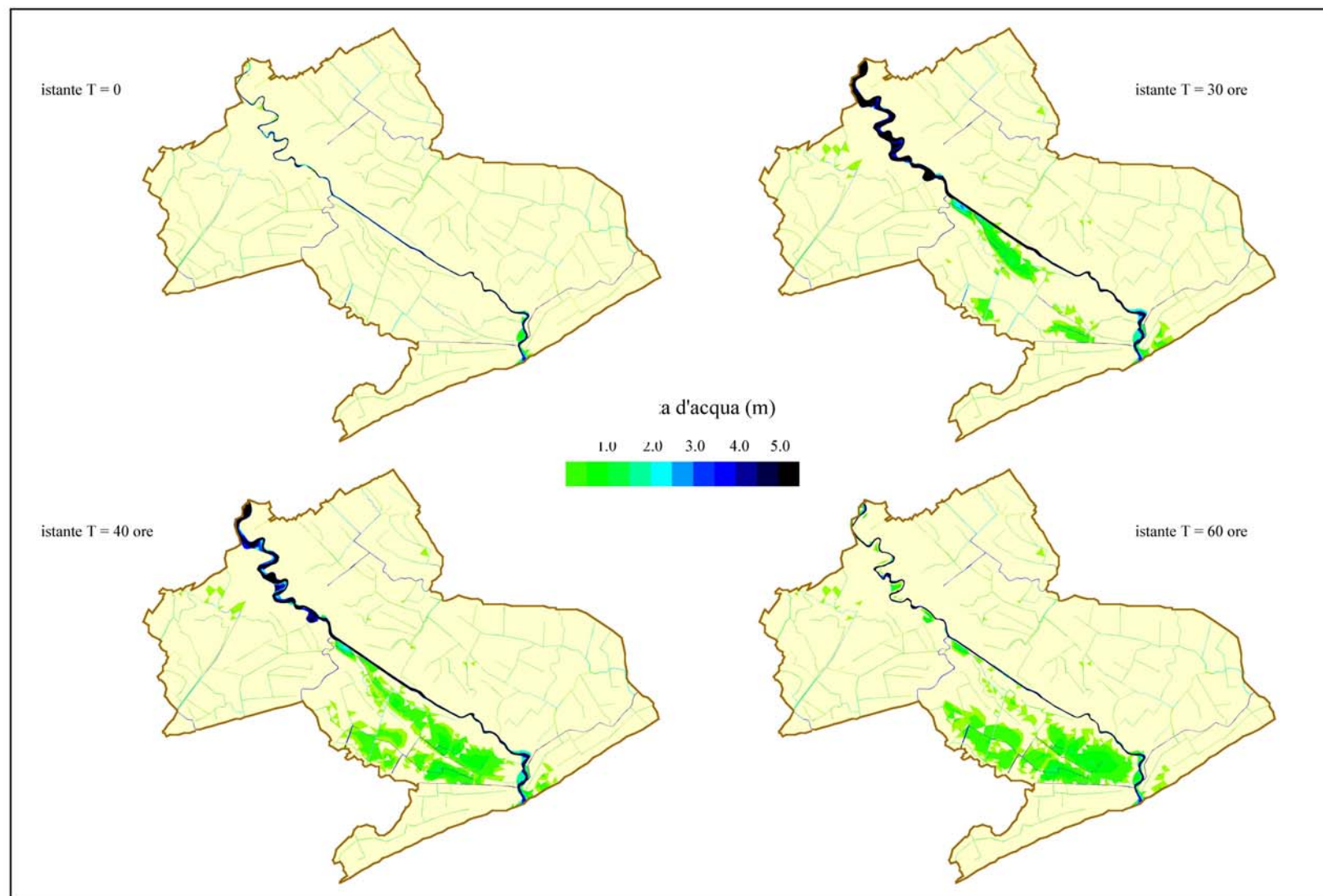


Fig. 6.17- Bacino del Piave. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $T_r = 100$ anni ipotizzando che si verifichi una rotta sull'argine Nord del Cavetta (caso B.2).

6.5 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Il comportamento idraulico del tratto terminale del F. Piave e del territorio ad esso adiacente è stato indagato con il modello matematico uni-bidimensionale con riferimento ad eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 50 e 100 anni. Per gli eventi esaminati i risultati del calcolo hanno confermato quanto già riportato negli studi pregressi sull'argomento, ovvero che per eventi di tale gravità il corso terminale del Piave è insufficiente a contenere le massime portate fluenti. I livelli idrometrici massimi che si stabiliscono nel fiume possono portare, infatti, a riduzioni del franco arginale oltre il limite di sicurezza e, in alcuni casi, anche alla tracimazione delle sommità arginali.

I calcoli sono stati eseguiti con riferimento ad ipotetici eventi di piena del Piave, assegnando in corrispondenza della sezione di monte, all'ingresso in provincia di Venezia (all'altezza di Zenson), idrogrammi di portata con valori al colmo pari a $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ per la piena cinquantenaria, e a $3700 \text{ m}^3/\text{s}$ per quella centenaria. Si tratta di valori ricavati dai risultati di un'indagine condotta per conto dell'Autorità di Bacino, in cui le portate in arrivo a Zenson sono valutate tenendo conto di possibili fenomeni di esondazione più a monte, in particolare all'altezza di Ponte di Piave.

Il funzionamento della rete idrografica minore che solca il territorio adiacente al F. Piave è stato descritto in condizioni ordinarie, senza considerare il contributo delle piogge dirette al suolo. In tali ipotesi i canali della rete minore possono fungere da vie preferenziali per la progressione degli eventuali allagamenti originati dai corsi d'acqua maggiori, favorendo inizialmente l'avanzamento dell'onda di sommersione sul territorio. Nella fase di esaurimento della piena i canali in questione contribuiscono al prosciugamento dei territori allagati convogliando le acque esondate verso gli impianti idrovori, le cui portate, tuttavia, sono assai modeste rispetto a quelle che sarebbero necessarie per allontanare in tempi ragionevoli le acque esondate.

Le prime simulazioni, eseguite per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni, hanno messo in evidenza che nel tratto del Piave compreso nel territorio della Provincia di Venezia il franco rispetto alle sommità arginali potrebbe ridursi in alcuni punti a meno di 1 m, con conseguente pericolo per le arginature stesse. I tratti arginali che sulla base dei calcoli risultano maggiormente in pericolo si trovano immediatamente a valle del sostegno di Intestadura dove, nelle ipotesi assunte per le simulazioni, le quote delle sommità arginali del Piave sono leggermente più depresse, mentre il fondo del fiume tende a rialzarsi.

Le simulazioni hanno preso in considerazione anche l'eventualità che, in concomitanza con il passaggio della piena, alla foce del Piave si verifichino condizioni di eccezionale alta marea, con livelli idrometrici fino a +1.5 m s.l.m..

I risultati dei calcoli in questo caso hanno mostrato che quando transitano portate rilevanti come quelle qui considerate l'effetto della marea sui livelli massimi raggiunti è significativo solo nel tratto del fiume più prossimo alla foce e diviene praticamente trascurabile all'altezza di S. Donà.

Dai calcoli è comunque messo in evidenza che i livelli delle alte maree eccezionali potrebbero essere critici con riferimento soprattutto ai canali Cavetta e Revedoli che sono messi in comunicazione con il Piave a poca distanza dalla foce attraverso varchi non presidiati. Mentre per il C. Revedoli sono attualmente in corso interventi per il ripristino del controllo del varco con paratoie, per il C. Cavetta nessun intervento di questo tipo è in atto o previsto sul breve termine. Pertanto, nelle condizioni ipotizzate nelle simulazioni, i livelli idrometrici in tale canale potrebbero portarsi al limite delle sommità arginali con pericolo di incipiente tracimazione.

Le simulazioni condotte per l'evento con tempo di ritorno pari a 100 anni, effettuate considerando alla foce un'alta marea eccezionale con massimo a +1.5 m s.l.m., hanno indicato come risultato principale che nel tratto canalizzato del Piave a valle di Intestadura, dove già le simulazioni precedenti avevano messo in luce possibili stati di sofferenza, si possono verificare delle esondazioni per sormonto degli argini, soprattutto in destra idrografica, con fuoriuscite dall'alveo di portate anche rilevanti.

Il modello matematico, in questo caso, consente di seguire l'evoluzione dell'allagamento sul territorio adiacente, evidenziando i percorsi preferenziali seguiti dall'onda di sommersione che avanza sul territorio. La particolare altimetria dei terreni interessati dall'inondazione fa sì che le acque si spaglino soprattutto nelle immediate adiacenze del fiume, propagandosi in direzione della foce; il centro abitato maggiormente interessato dall'evento è Passarella, ma nell'evoluzione dell'allagamento le acque si spingono anche a grande distanza dal punto della tracimazione, arrivando fin quasi all'abitato di Cortellazzo. Seguendo le vie preferenziali costituite dai canali della bonifica, l'allagamento si estende inoltre ad ampie zone di campagna a Nord dell'abitato di Jesolo.

Pur essendo evidente che è il Piave il corso d'acqua che, per eventi gravosi come quelli considerati, può dare origine alle più evidenti condizioni di rischio idraulico, si è ritenuto opportuno esaminare con il modello anche le conseguenze di un eventuale cedimento delle arginature del C. Cavetta. E' da osservare che, nel caso della piena centenaria, le condizioni degli argini di questo canale sono risultate ancor più critiche, tanto da non escludere l'eventualità del sormonto delle arginature stesse. In tale caso, soprattutto se il sormonto si protrae per qualche tempo, il collasso del corpo arginale diventa del tutto probabile.

Per dare un'idea di quello che potrebbe verificarsi nella simulazione della piena centenaria si è ipotizzato che nel momento in cui i livelli nel Cavetta arrivano, al loro massimo, a lambire le sommità arginali, si verifichi il cedimento di un tratto arginale sul lato Nord del canale, con la formazione di una breccia di rilevanti dimensioni. Il modello consente di descrivere gli effetti dell'evento, non ultimi quelli relativi all'entità delle portate che fuoriescono dalla breccia e alla dinamica della diffusione delle acque sul territorio adiacente.

Nelle ipotesi assunte si verifica che l'allagamento si estende rapidamente sulle campagne adiacenti e tende a propagarsi verso Ovest. Per effetto dell'altimetria dei terreni l'onda di sommersione si propaga però lentamente e le acque tendono a ristagnare sugli adiacenti territori della bonifica, dove le quote dei terreni sono minori, e non interessano se non marginalmente l'abitato di Jesolo, che potenzialmente costituisce il centro a maggior rischio per l'evento simulato.

La vicinanza della rotta con la foce fa sì che, se perdurano le condizioni di alta marea come nel caso ipotetico simulato, la fuoriuscita di portate consistenti dalla breccia possa continuare anche nella fase di esaurimento della piena, allagando la campagna adiacente con una lama d'acqua di altezza significativa. In tali condizioni, pur assumendo ipotesi semplificative che trascurano, ad esempio, gli effetti peraltro modesti, dell'infiltrazione sui terreni, con il modello è possibile stimare in prima approssimazione i tempi necessari per il prosciugamento dei territori allagati in occasione dell'evento, assumendo che le acque siano convogliate principalmente dai canali della rete di bonifica e siano scaricate nei collettori principali per intervento dei soli impianti idrovori presenti sul territorio. Nel caso ipotetico simulato, ad esempio, i tempi necessari per allontanare le acque che allagano i territori investiti dall'inondazione risultano dell'ordine di 6 - 7 giorni.

7 APPLICAZIONE DEL MODELLO AL TRATTO TERMINALE DEL F. SILE E AL TERRITORIO ADIACENTE

7.1 Caratteri idraulici del territorio

Il territorio indagato è rappresentato in modo schematico nella Fig. 7.1.

L'area considerata riguarda innanzitutto il corso del fiume Sile compreso tra la località Quarto d'Altino e la foce nel mare Adriatico presso Porto di Piave Vecchia. Sono inclusi inoltre il sistema di canali costituito dal Silone, Silonetto, Taglietto e C. Nuovo, che a sua volta raccoglie il contributo del F. Vallio - Canale della Vela, a Ovest, il F. Piave Vecchia, a Nord, e infine il C. Cavetta navigabile fino alla confluenza con il Piave, a Est.

La lunghezza complessiva del tratto di fiume Sile considerato è di circa 39 km. Come negli studi precedenti, i contorni esterni del dominio di calcolo sono stati assunti in corrispondenza dei principali rilevati stradali, ferroviari o arginali in modo da delimitare con dei confini "fisici" il territorio potenzialmente allagabile dal F. Sile e dagli altri corsi d'acqua principali. Per questa ragione la schematizzazione si estende a tutto il territorio adiacente al Sile in destra idrografica, fino all'argine del Fiume Zero e del Canale di S. Maria, poi lungo i Canali Taglietto e Silone, ancora lungo l'argine del Canale Lovigno Dolce e infine lungo il Canale Nuovo sino all'inizio del Taglio del Sile. Da qui il comprensorio è delimitato dalla sponda destra del Sile sino all'intersezione con l'Argine San Marco, e segue poi il perimetro della Laguna Veneta sino a Punta Sabbioni (diga Nord Lido). Nella sua parte settentrionale, il comprensorio si estende fino alla ferrovia Venezia-Trieste, mentre nella parte orientale esso è delimitato dalla sponda destra del Fiume Piave, nel tratto che va dal ponte ferroviario a monte di Musile fino alla Foce in Mare Adriatico. La linea di costa, infine, rappresenta il limite meridionale del comprensorio.

Complessivamente l'area esaminata si estende per circa 220 km². Essa risulta interamente compresa nella Provincia di Venezia.

Per quanto riguarda gli aspetti della bonifica idraulica, il territorio considerato ricade in parte nei limiti di competenza del Consorzio di Bonifica Destra Piave, con sede a Treviso, in parte in quelli del Consorzio di Bonifica Basso Piave, con sede a San Donà di Piave, in parte in quelli del Consorzio di Bonifica Dese Sile, con sede a Mestre.

Dal punto di vista altimetrico l'area è per lo più pianeggiante con quote del terreno particolarmente depresse essendo in qualche zona inferiori a -2.0 m s.l.m.. Lo smaltimento delle acque meteoriche, pertanto, avviene a mezzo di una serie di impianti idrovori gestiti dai Consorzi, che scaricano i contributi della rete dei canali di bonifica nei corsi d'acqua principali e nel Sile stesso.

Le situazioni di rischio idraulico nel comprensorio considerato sono legate da una parte al comportamento del Sile in occasione di eventi di piena eccezionali del fiume, dall'altra all'eventuale insufficienza della rete di drenaggio o degli impianti idrovori che ne scaricano le portate nei corpi idrici ricettori.

Un elemento di particolare rilevanza al riguardo è costituito dai livelli della marea che si stabiliscono alla foce del Sile e nella parte settentrionale della laguna. Se in concomitanza con il verificarsi di eventi di piena significativi si riscontrano in mare e in laguna alte maree eccezionali legate a perturbazioni che interessano l'alto Mare Adriatico, gli effetti sulla rete idrografica possono essere molto significativi, da una parte perché, a parità di portata in arrivo da monte, i livelli massimi nel Sile e nei collettori principali risultano sensibilmente incrementati e possono portarsi al limite delle sommità arginali, dall'altra perché, a seguito di tale incremento, può risultare difficoltoso il funzionamento degli impianti idrovori che drenano la rete minore.

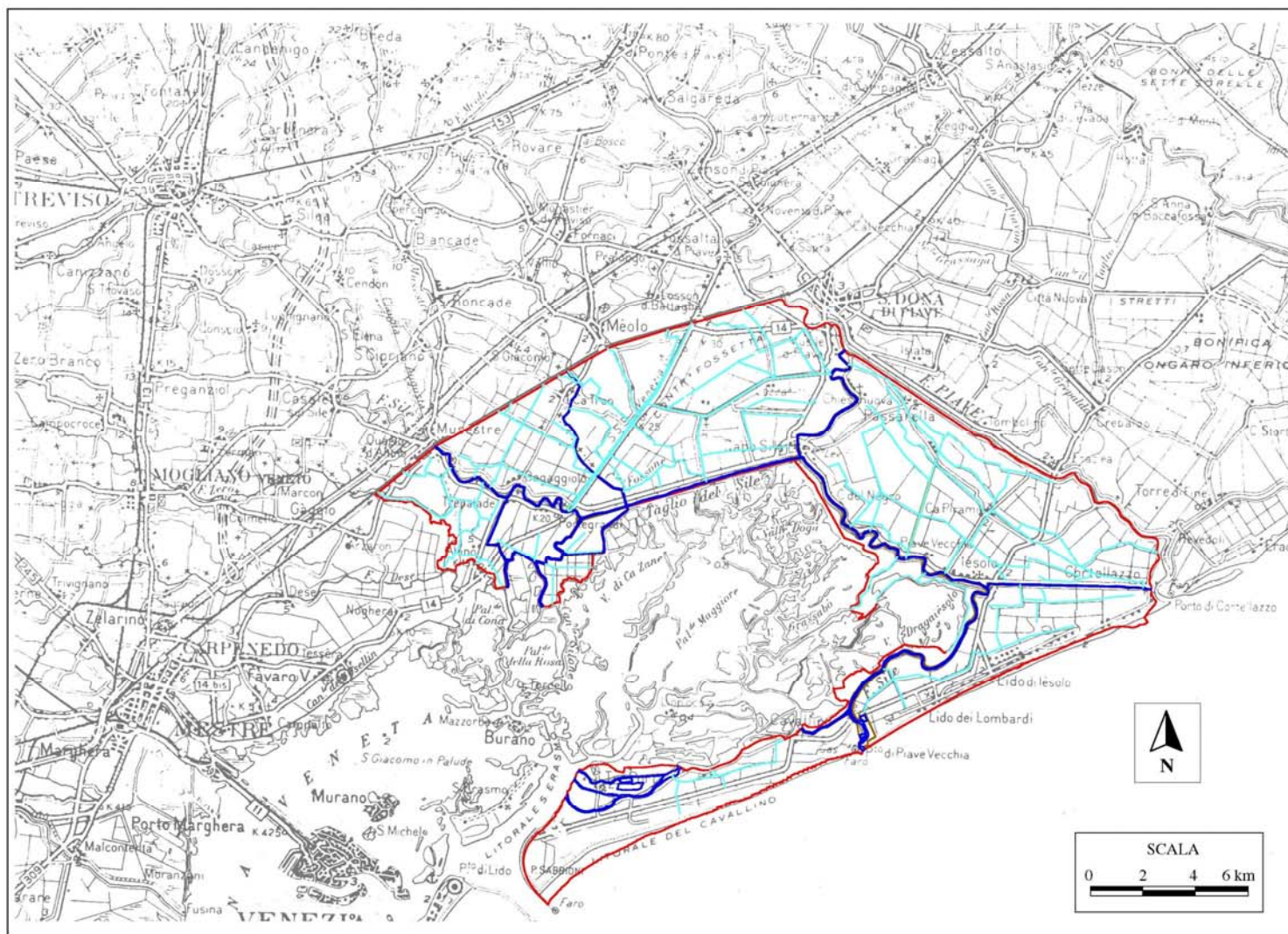


Fig.7.1 - Corografia del tratto terminale del Fiume Sile e del territorio ad esso adiacente considerato nell'indagine.

7.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Come nei casi precedenti la morfologia del territorio è stata modellata mediante elementi bidimensionali ed unidimensionali.

Elementi bidimensionali di dimensioni maggiori sono stati utilizzati per descrivere le aree di campagna, mentre elementi di dimensioni minori (fino a circa 10 m di lato) sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da variazioni altimetriche più sensibili, quali i rilevati (strade, ferrovie o altro) o gli alvei dei corsi d'acqua principali (il Fiume Sile, i canali Silone, Silonetto, Taglietto, Nuovo, il F. Vallio - Canale della Vela, il Canale Cavetta, il F. Piave Vecchia).

Gli elementi unidimensionali sono stati a loro volta utilizzati per descrivere i canali della rete di bonifica in base alle informazioni reperite presso i locali Consorzi di Bonifica.

Tronchi speciali di tipo “soglia sfiorante” sono stati utilizzati, infine, per descrivere il flusso sopra gli argini dei corsi d'acqua principali nell'eventualità che si dovesse verificare la tracimazione o il cedimento degli argini stessi.

Particolare cura è stata posta nella schematizzazione dello sfioratore del Sile in laguna. Questo ampio varco, aperto nell'argine sinistro del fiume poco a valle di Portegrandi a seguito dell'alluvione del 1966, consente al fiume di scaricare una frazione considerevole delle sue portate di piena in laguna, con notevoli benefici sui livelli massimi, soprattutto a valle. Sulla base degli elementi reperiti nello studio [7] lo sfioratore ha una lunghezza di poco più di 100 m e soglia posta alla quota di 0.7 m s.l.m.. Esso è stato schematizzato utilizzando elementi bidimensionali atti a rappresentare anche una porzione di laguna, in modo da poter porre correttamente le condizioni al contorno che ne influenzano il funzionamento.

Nel territorio esaminato il deflusso delle acque meteoriche nelle aree pianeggianti avviene principalmente, come si è detto, per sollevamento meccanico, mediante una serie di impianti idrovori ciascuno dei quali smaltisce gli apporti di un sottobacino tributario.

La Fig. 7.2 riporta la planimetria del bacino con l'indicazione dei principali collettori di ciascun sottobacino e della posizione dei citati impianti idrovori. La Tabella 7.1 riporta i dati essenziali di portata dei gruppi pompa, le cui caratteristiche di funzionamento sono state desunte dalla documentazione fornita dai Consorzi gestori. Nella stessa tabella sono riportate anche le quote di attacco e stacco di ciascun gruppo, così come schematizzate nel modello. Tali quote, ovviamente, possono essere non perfettamente corrispondenti alla realtà dal momento che non sempre gli impianti dispongono di sistemi per l'attivazione automatica delle pompe al di sopra di prefissate quote idrometriche.

Dai dati riportati in tabella risulta che la somma delle portate massime che possono essere scaricate dalle idrovore ubicate nel bacino ammonta a $74,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Anche in questo caso il riferimento plano-altimetrico principale per la costruzione del modello matematico è costituito dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, della quale sono stati acquisiti tutti gli elementi relativi al territorio indagato. Sulla base della Carta Tecnica è stata operata la suddivisione del dominio in elementi bidimensionali e unidimensionali.

Gli elementi cartografici in formato vettoriale hanno consentito di elaborare un piano quotato sufficientemente dettagliato di tutta l'area di indagine, utile al fine di assegnare automaticamente le quote altimetriche agli elementi della schematizzazione numerica del reticolo di calcolo del modello.

Con i files raster, inoltre, georeferenziati nello stesso sistema di riferimento della CTR, è stata costituita una base grafica sulla quale è stato digitalizzato il tracciato di tutti gli elementi morfologici rilevanti ai fini delle elaborazioni (Fig. 7.2). In particolare sono stati digitalizzati,

oltre ai confini del comprensorio, i limiti dei centri abitati ed i tracciati degli elementi principali della rete viaria, selezionando tutti i rilevati ferroviari, le autostrade, le strade provinciali ed altri elementi (scarpate, dossi, rampe di ponti e cavalcavia), la cui conformazione in rilevato rispetto alla campagna circostante può verosimilmente costituire un significativo ostacolo alla propagazione dell'onda di sommersione sul terreno.

Sulla stessa base raster è stata digitalizzata anche la rete idrografica minore del territorio esterno agli argini del Sile.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle sezioni del Sile, si è fatto riferimento ai dati contenuti nel Piano di Bacino del F. Sile [7], che contiene il più completo studio idrologico ed idraulico sul fiume, fino ad oggi. In tale indagine sono riportati i dati delle 70 sezioni topografiche utilizzate per schematizzare il corso del fiume da Quarto d'Altino fino alla foce, di cui in tabella 7.2 sono indicati gli elementi essenziali (distanza progressiva, quota di thalweg, quote delle sommità arginali in destra e in sinistra).

Per mettere a punto la schematizzazione del corso d'acqua con il modello uni-bidimensionale impiegato in questo caso si è fatto riferimento all'insieme di tutti i dati riportati nello studio [7], ricorrendo a procedure di interpolazione per assegnare i dati mancanti.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione del sistema, sono stati assunti dopo alcune simulazioni preliminari di taratura in modo da riprodurre al meglio gli andamenti dei livelli misurati nelle stazioni idrometriche prese a riferimento, come sarà descritto nel successivo paragrafo.

In definitiva, si è adottato per il fiume Sile un coefficiente di scabrezza k_s secondo Strickler di $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree golenali, mentre per l'alveo tale coefficiente è stato assunto pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nei tratti rettilinei del Taglio del Sile e della tratta da Jesolo alla foce, e pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ nelle parti rimanenti.

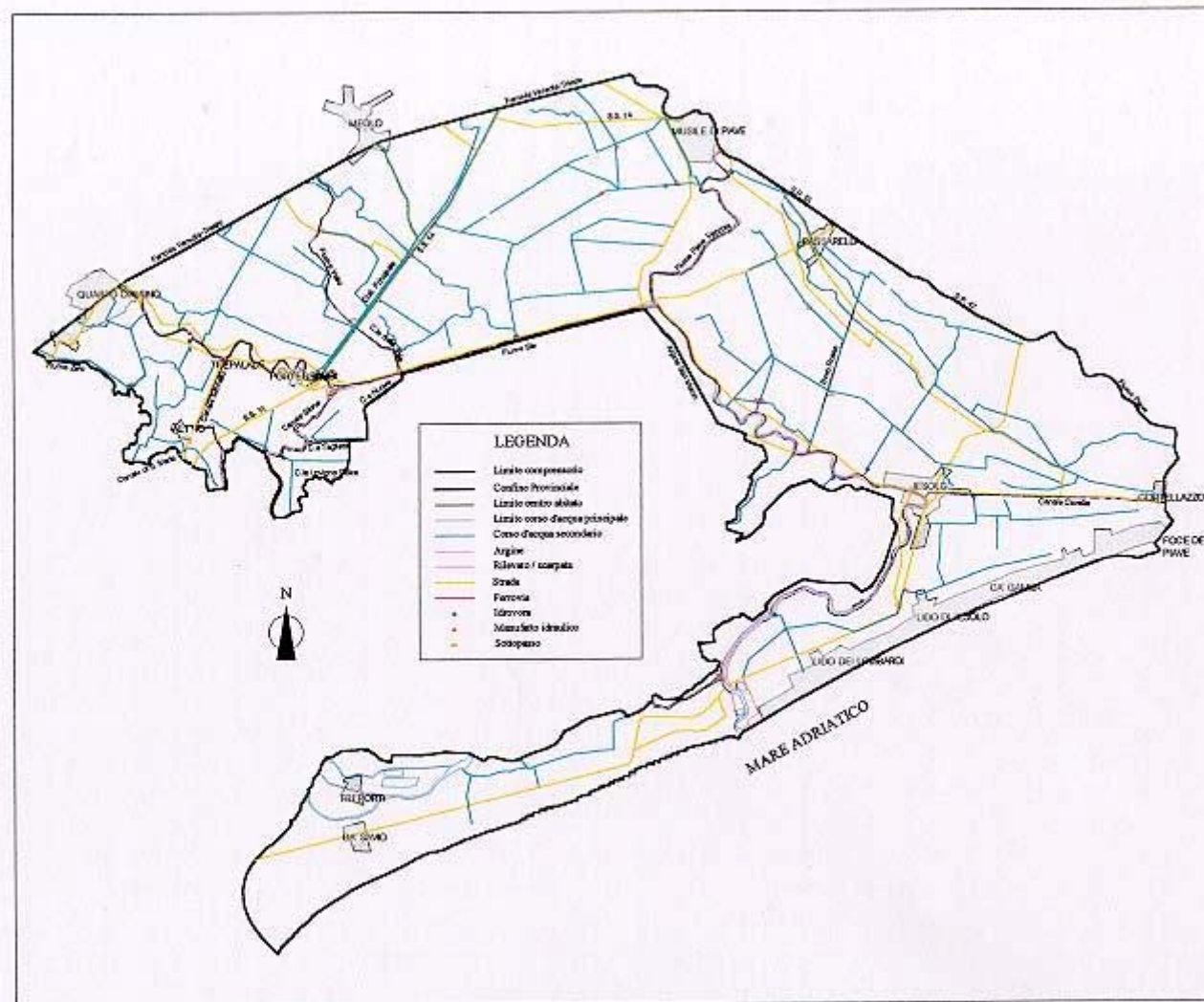
Per descrivere gli effetti delle resistenze idrauliche nella rete idrografica minore e sul territorio potenzialmente allagabile, dove non sono reperibili gli elementi necessari per condurre una taratura del modello, si sono assunti valori dei coefficienti di scabrezza ricavati sulla base di precedenti esperienze analoghe. Tali valori sono variabili tra $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali, pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi in rilevato (rispettivamente strade e ferrovie), e a $16 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per la restante parte del territorio (campagne, centri abitati).

Lungo il corso del Sile gli effetti delle perdite di carico localizzate, dovute ad eventuali ostacoli, restringimenti ed altro, sono stati descritti conglobando tali fenomeni in quelli della resistenza continua com'è del resto usuale in problemi di questo tipo.

E' in ogni modo da evidenziare l'importanza che assume, soprattutto per simulazioni con portate al limite della capacità dell'alveo, la corretta individuazione dei coefficienti di scabrezza lungo il tratto arginato del Sile, poiché da tali parametri dipendono i valori delle altezze idrometriche massime calcolate. Una stima più precisa dei coefficienti di scabrezza potrebbe essere ottenuta se fossero disponibili, come sarebbe auspicabile, un numero ben maggiore di misure contemporanee di livello e di portata in qualche sezione del tratto fluviale in questione.

Per quanto riguarda la rete minore e la rete di bonifica, i dati necessari per la schematizzazione dei canali sono stati forniti, come si è detto, dai locali Consorzi di Bonifica; tali dati sono stati tratti in gran parte dagli elaborati del Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale.

In particolare sono stati inseriti, per ciascun tronco di canale, la quota del fondo, la larghezza in cunetta e la pendenza delle sponde, in modo tale da descriverne il comportamento idraulico mediante gli elementi unidimensionali inseriti nel modello.



Di alcuni tratti di canale non è stato possibile reperire alcun dato attendibile. Per tali elementi la schematizzazione è stata effettuata utilizzando gli elementi ricavabili dalla CTR.

La Fig. 7.3 illustra il reticolo di calcolo ad elementi finiti utilizzato nel modello, che complessivamente è costituito da 4589 nodi, 7577 elementi bidimensionali triangolari, da 744 elementi unidimensionali e 689 tronchi speciali. La stessa figura è rappresentata alla scala 1:50.000 nella allegata Tavola. Nella tavola sono evidenziati anche i nodi in corrispondenza dei quali sono stati introdotti i dispositivi che schematizzano il funzionamento degli impianti idrovori, e i nodi in cui sono state assegnate le condizioni al contorno per le simulazioni.

In questa analisi non sono stati considerati per il territorio servito dalla bonifica i contributi diretti delle precipitazioni al suolo, poiché l'indagine è principalmente volta ad analizzare gli effetti di eventuali condizioni di rischio idraulico causate da possibili esondazioni del F. Sile, e quindi l'esame riguarda la propagazione delle onde di piena nel fiume maggiore. In questo caso, peraltro, tale modo di procedere introduce dei limiti nell'analisi, poiché le portate che fluiscono nel corso terminale del Sile in caso di piena possono essere sensibilmente incrementate dal contributo degli impianti idrovori (la somma delle portate massime che possono essere scaricate nel fiume dagli impianti afferenti al Sile ammonta a quasi 60 m³/s).

E' ovvio peraltro che lo schema che modella il territorio della bonifica potrebbe, senza particolari maggiori oneri computazionali, essere utilizzato in una fase successiva anche per esaminare situazioni locali di allagamento prodotte da insufficienze della rete formata dai canali della bonifica stessa e valutare il contributo degli impianti idrovori nel caso di una piena anche nella rete di bonifica.

La successiva Fig. 7.4 rappresenta la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. La rappresentazione a scala di colori mostra come l'altimetria sia sostanzialmente uniforme, con quote generalmente inferiori al livello medio del mare. In particolare nei terreni della bonifica si possono individuare alcune ampie depressioni in cui le quote del terreno sono inferiori, come si è già detto, a -2 m s.l.m.

Modello matematico 2D-1D
4589 nodi
7577 elementi 2D
744 elementi 1D
689 tronchi speciali

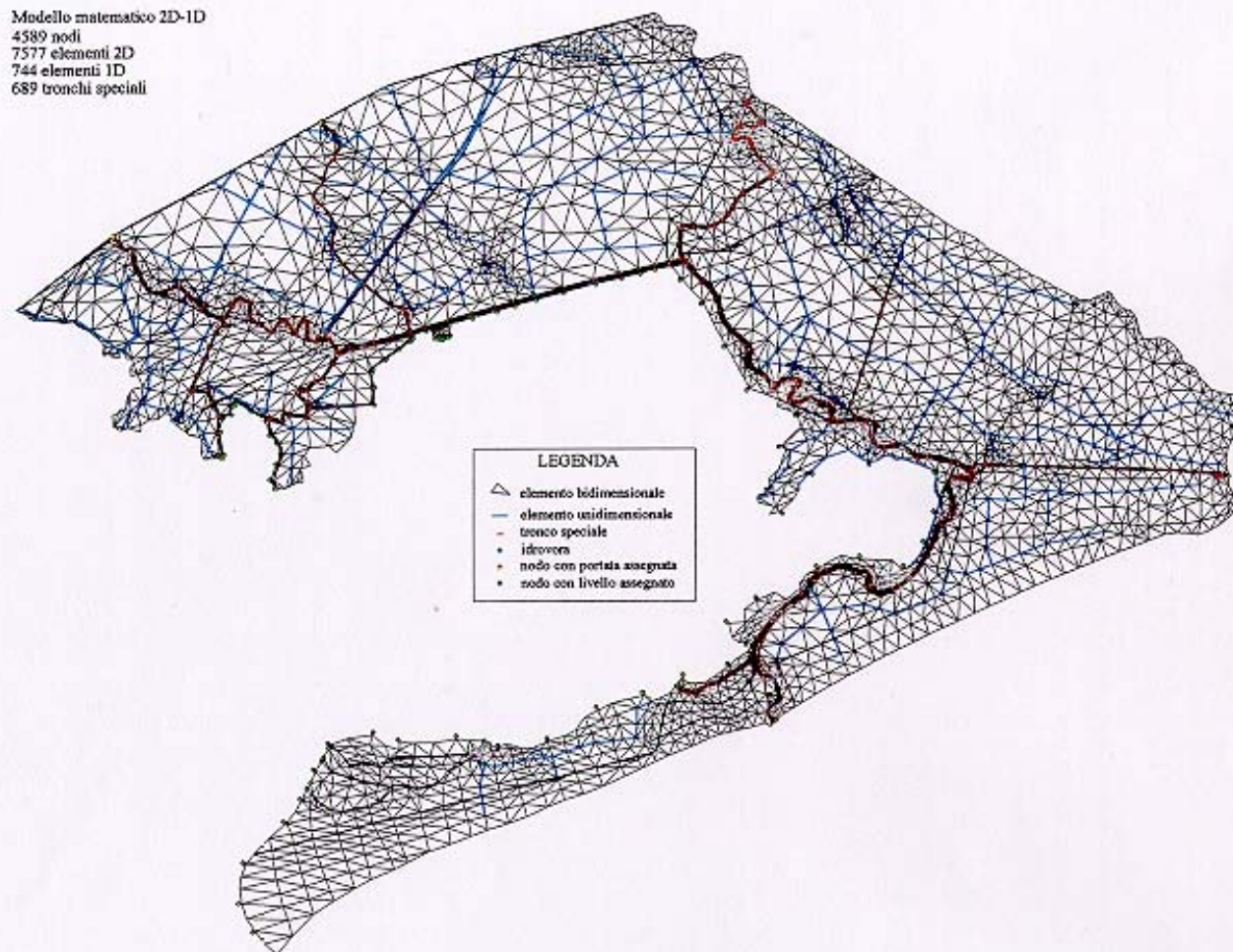


Fig 7.3 - Bacino del Sile. Reticolo di calcolo del modello uni-bidimensionale. Scala 1:150.000.

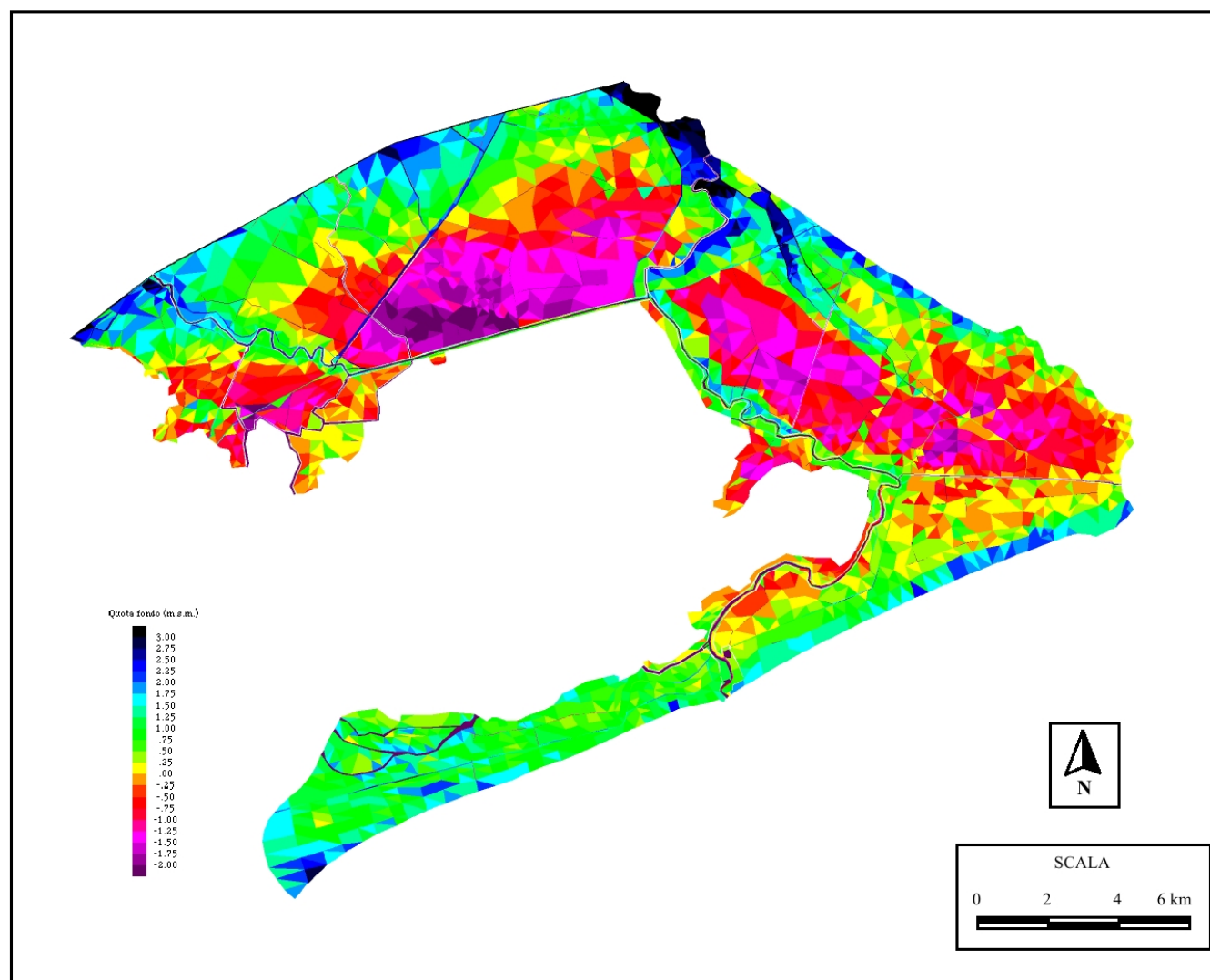


Fig. 7.4 - Bacino del Sile. Schematizzazione dell'altimetria del territorio con il modello matematico.

7.3 Taratura del modello matematico

Nel caso in esame è stato possibile condurre una taratura del modello matematico, sia pur limitata al corso del Sile. Infatti, sulla base dei contenuti del già citato studio [7], esistono degli elementi sperimentali di confronto per verificare il buon accordo con il reale dei risultati forniti dal modello e calibrare opportunamente i valori dei coefficienti di scabrezza dei diversi tratti del fiume.

In particolare è stato considerato l'evento verificatosi il giorno 13 marzo 1987, per il quale sono disponibili gli andamenti dei livelli registrati agli idrometri della foce, di Cà Porcia, Jesolo, Torre Caligo, Caposile, Lanzoni e Portegrandi.

Con riferimento a tale evento, le portate in ingresso a Quarto d'Altino, che costituiscono la condizione al contorno sul confine di monte del sistema, sono state considerate costanti e pari a $41.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Nel corso dell'evento i contributi delle idrovore lungo il Sile sono risultati trascurabili.

Per le condizioni al contorno sui nodi posti allo sbocco del Sile nel mare Adriatico, è stata ricostruita una marea sulla base dei valori sperimentali misurati alla foce e a Cà Porcia. Per quanto riguarda la confluenza del canale Cavetta con il Piave, dove attualmente il collegamento tra i due corsi d'acqua non è presidiato essendo ormai in disuso la vecchia conca di navigazione, l'andamento del livello su tali nodi è stato ricavato dopo alcune simulazioni a moto permanente, in modo tale da fare risultare, sulla base dei dati rinvenuti in [7], una ripartizione di circa il 20% della portata totale transitata sul Sile alla sezione di Jesolo verso il Cavetta stesso e quindi verso il Piave. Altra condizione di portata è stata posta in entrata al F. Vallio, al solo scopo di realizzare, per tal corso d'acqua, condizioni iniziali di parziale riempimento. Condizioni di livello costante pari a zero sono state poste infine sui nodi in laguna.

Alcune simulazioni preliminari hanno consentito di valutare gli effetti sui livelli idrometrici lungo il fiume Sile conseguenti all'adozione di diversi coefficienti di scabrezza. I parametri assunti per l'alveo centrale e per le zone golenali, che consentono, appunto, di riprodurre al meglio gli andamenti dei livelli misurati nelle stazioni idrometriche prese a riferimento, sono quelli riportati nel paragrafo precedente.

In Fig. 7.5 (in alto) è riportato il confronto tra i valori sperimentali e quelli numerici ottenuti con una tale scelta dei coefficienti. E' interessante osservare la buona corrispondenza tra i valori, soprattutto nelle stazioni a monte (Portegrandi) e a valle (Jesolo, Cà Porcia e foce), mentre per le stazioni poste sul Taglio del Sile (Lanzoni e Caposile) il modello tende a sovrastimare i livelli.

La necessità di differenziare i valori dei coefficienti nei diversi tratti del fiume è stata rilevata con delle simulazioni preliminari, utilizzando ancora i dati relativi all'evento sopraccitato (13 marzo 1987). La Fig. 7.6 confronta i livelli in diverse stazioni di misura relativi all'istante finale delle simulazioni ($t = 24$ ore), al variare dei valori di scabrezza, attribuendo a tutto il fiume (in alveo) il medesimo valore. Come si può notare, i punti sperimentali possono essere ben riprodotti dai punti calcolati solo se si adottano diversi valori del coefficiente di scabrezza nei diversi tratti.

Per verificare l'attendibilità della taratura, è stato ulteriormente considerato l'evento verificatosi il giorno 15 dicembre 1988, per il quale sono disponibili gli andamenti dei livelli registrati agli idrometri della foce, di Jesolo, Torre Caligo, Caposile, Lanzoni e Portegrandi (studio [7]).

Con riferimento a tale evento, le portate in ingresso a Quarto d'Altino, che costituiscono la condizione al contorno sul confine di monte del sistema, sono state considerate costanti e pari a $44.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche in tale caso le idrovore lungo il Sile non sono entrate in funzione.

Le condizioni iniziali e al contorno, sono state poste con analoghi criteri rispetto a quelli seguiti per l'evento del 13 marzo 1987. Nella stessa Fig. 7.5 sono rappresentati i risultati forniti

dal modello per questo evento, messi a confronto con i dati sperimentali. I risultati ottenuti rispecchiano sostanzialmente quanto già visto per l'evento esaminato in precedenza, anche se in questo caso il modello tende a sovrastimare i livelli, oltre che a Caposile, anche nella sezione di monte a Portegrandi, mentre riproduce correttamente le misure effettuate a Lanzoni.

In definitiva, comunque, la capacità del modello di riprodurre l'andamento dei livelli appare accettabile per entrambi i casi esaminati.

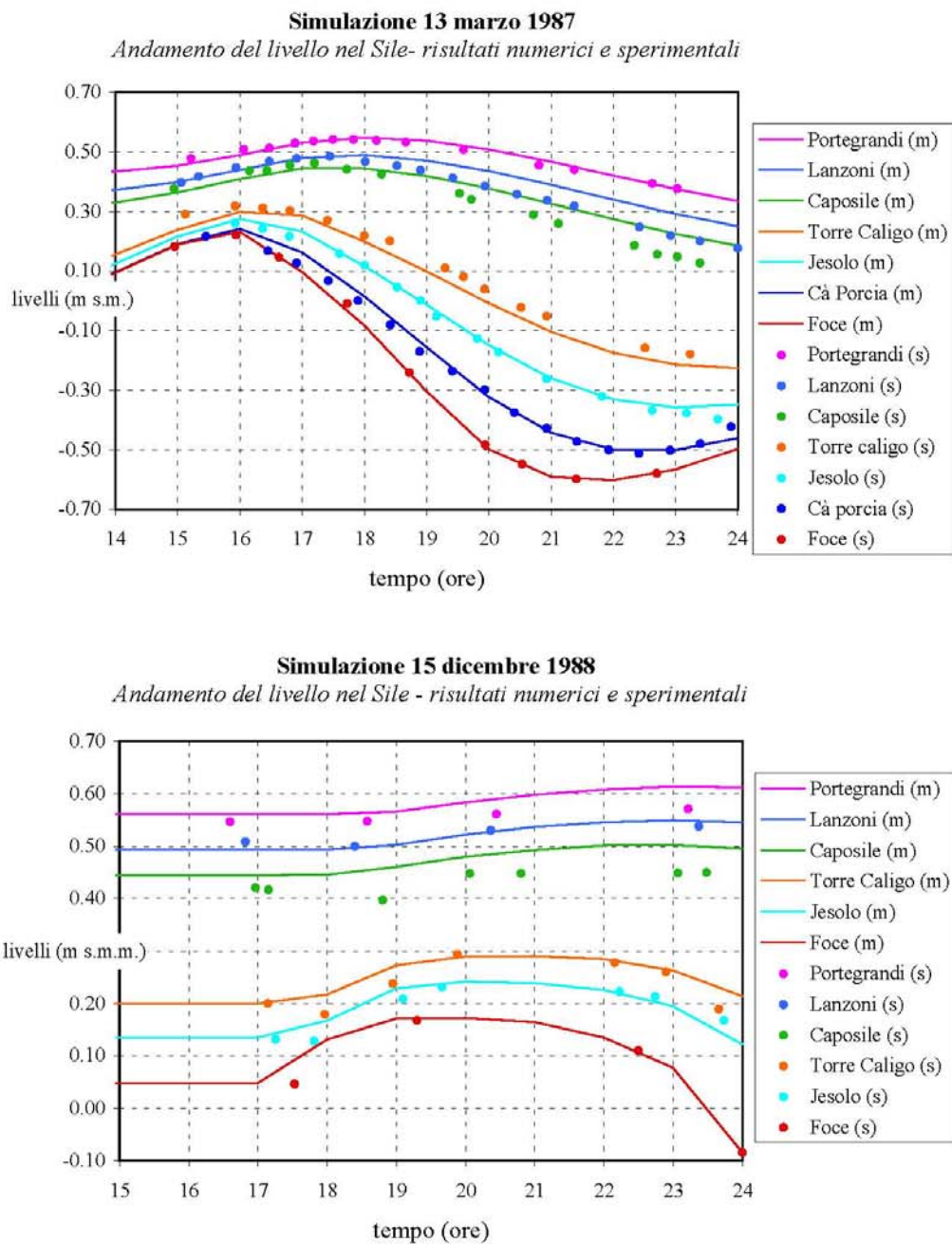


Fig. 7.5 - Modello del F. Sile. Confronto tra valori calcolati e misurati nelle simulazioni di taratura.

Stazione di misura	Sperimen.	Ks 30 (m)	Ks 25 (m)	Ks 27 (m)
Cà Porcia (1)	0.10	0.11	0.12	0.11
Jesolo (2)	0.13	0.18	0.20	0.19
Torre Caligo (3)	0.22	0.23	0.27	0.25
Caposile (4)	0.42	0.35	0.43	0.39
Lanzoni (5)	0.46	0.41	0.51	0.47
Portegrandi (6)	0.55	0.49	0.62	0.57
Trepalade (7)	0.63	0.60	0.76	0.69

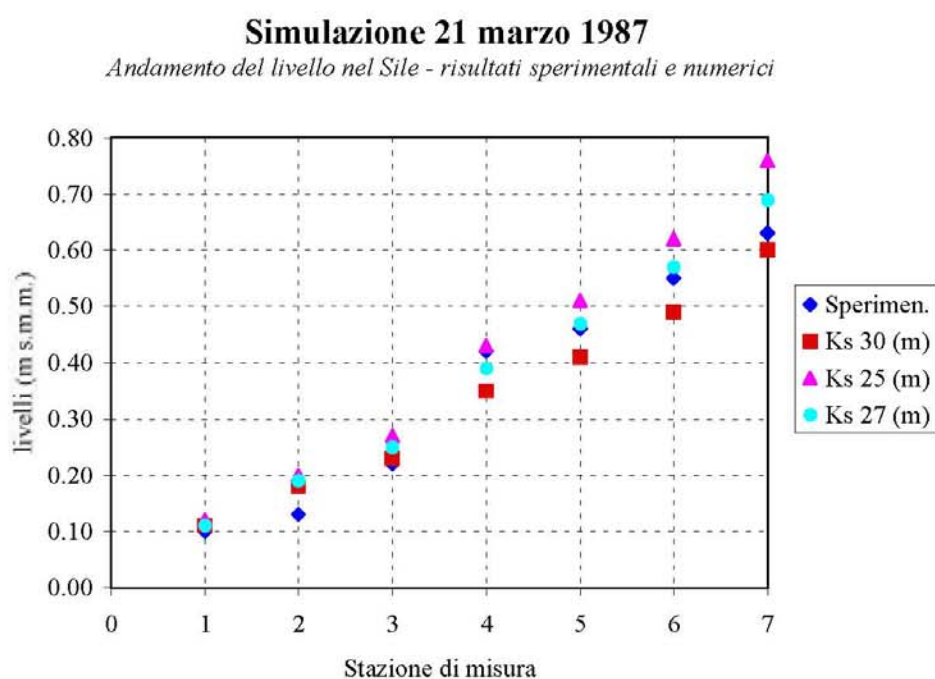


Fig. 7.6 - Evento del 13 marzo 1987- Confronto sui livelli in alcune sezioni del Sile a valle di Quarto d'Altino al variare dei coefficienti di Strickler (istante finale della simulazione: $t = 24$ ore)

7.4 Risultati delle simulazioni

7.4.1 Premessa

Alcune premesse si rendono necessarie nell'esaminare gli eventi di piena considerati. Le simulazioni si riferiscono, come si è detto, alla propagazione di un'onda di piena nel Sile senza considerare il contributo della rete minore.

In tali ipotesi, sulla base dello studio [7], è stato ricostruito un evento di piena il cui tempo di ritorno è valutabile in circa 100 anni per la sezione di monte a Quarto d'Altino, ipotizzando diverse condizioni di marea alla foce. In un primo caso (caso A), si è assunta alla foce una marea sinusoidale semidiurna oscillante tra le quote di -0.5 e 0.5 m s.l.m.. Tali condizioni possono essere considerate rappresentative di una marea di sizigia ordinaria.

In un secondo caso (caso B), è stata ipotizzata una marea analoga alla precedente, ma oscillante tra le quote di 0.75 e 1.75 m s.l.m.

Quest'ultimo caso è stato considerato per verificare gli effetti di una marea confrontabile con quella dell'evento del '66 che, com'è noto, raggiunse il livello massimo di 1.94 m sullo zero mareografico di Punta della Salute, che si colloca circa 23 cm sotto al livello medio del mare.

Per entrambi i casi è stato calcolato l'andamento della marea in laguna in corrispondenza dello sfioratore del Sile a valle di Portegrandi effettuando delle simulazioni con un modello bidimensionale di tutta la laguna di Venezia. Infatti le simulazioni preliminari hanno dimostrato il ruolo primario che questo elemento riveste sugli stati idrometrici massimi che si stabiliscono nel tratto terminale del Sile, e che le condizioni idrometriche che si stabiliscono in laguna a ridosso dello sfioratore, influenzano sostanzialmente il funzionamento dello sfioratore stesso.

Nelle Figg. 7.7 e 7.11 sono riportati gli andamenti del livello assegnati come condizioni al contorno.

I grafici mostrano il considerevole sfasamento e l'altrettanto evidente riduzione di ampiezza della marea in laguna rispetto a quella in mare. Tali differenze, sensibilmente variabili a seconda della marea considerata, assumono un ruolo primario sul funzionamento dello sfioratore del Sile.

La durata degli eventi di piena è stata assunta pari a 120 ore, come si vede nelle stesse figure 7.7 e 7.11, che riportano gli idrogrammi di piena alla sezione di Quarto d'Altino. L'andamento della portata è il medesimo per entrambi i casi ed è caratterizzato da un valore al colmo di $145 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore è stato ricavato [dallo studio 7], come rappresentativo di un evento con tempo di ritorno pari a 100 anni per il Sile a valle della confluenza con il Musestre.

Vale la pena di ricordare ancora una volta come nelle simulazioni non sia stato considerato il contributo della rete di bonifica che, a mezzo delle idrovore che scaricano nel Sile, potrebbe incrementare anche sensibilmente le portate fluenti nel fiume a valle di Quarto d'Altino (la portata che al massimo le idrovore possono scaricare nel Sile ammonta a $62 \text{ m}^3/\text{s}$).

La forma dell'idrogramma di piena è stata ricostruita sulla base dell'andamento dell'idrogramma di piena misurato a Casier nel 1966 [ricavato dallo studio 7], e sempre da questo studio è stato ricavato il valore centenario della portata.

Le condizioni iniziali assunte per ogni simulazione prevedono per il Sile una portata costante di $44.7 \text{ m}^3/\text{s}$, un livello di marea alla foce di 0.08 m s.l.m., un livello di marea sui nodi dello sfioratore in laguna di 0.0 m s.l.m. In questa situazione il campo di moto è tale da interessare solo l'alveo principale del Sile senza invaderne le golene. Le condizioni iniziali sul Cavetta alla confluenza con il Piave prevedono un livello di 0.12 m s.l.m.. Condizioni al contorno di flusso entrante, con portate di piccola entità, sono state infine poste sui nodi di monte del fiume Vallio.

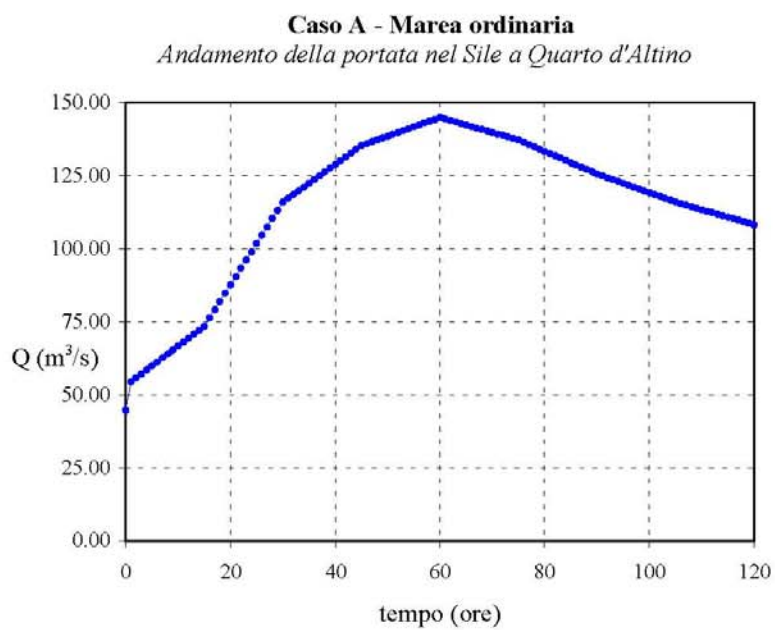
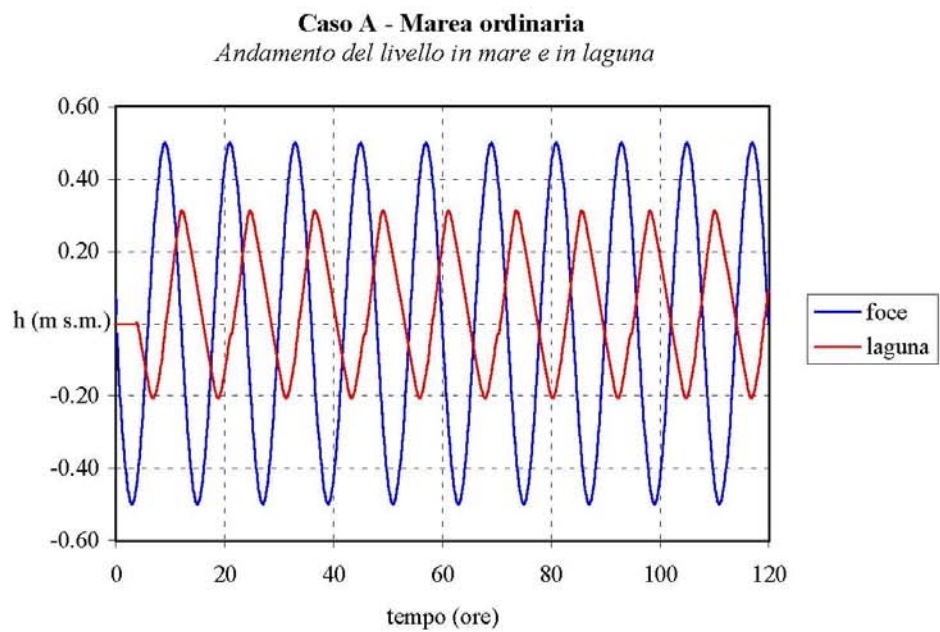


Fig. 7.7 - Condizioni al contorno assegnate nelle sezioni di monte e di valle nella simulazione relativa al caso A.

7.4.2 *Caso A - Esame della propagazione di una piena centenaria nel Sile senza considerare il contributo della rete minore ipotizzando alla foce una marea di sizigia ordinaria*

Nelle ipotesi indicate al punto precedente e con una marea ordinaria (cfr. Fig. 7.7), i risultati del calcolo sono sintetizzati nelle Figg. 7.8, 7.9 e 7.10.

In particolare, la Fig. 7.8 riporta l'andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Sile. Tali sezioni sono state posizionate in modo tale da poter offrire una visione complessiva dell'andamento di tali parametri idraulici calcolati lungo tutto il corso del fiume Sile stesso.

Nella sezione di Trepalade al passaggio del colmo della piena si ravvisa un livello idrometrico di circa 2.50 m s.l.m., mentre più limitati appaiono i valori a Portegrandi, ove è di poco superato il valore di 1.50 m s.l.m.. E' interessante osservare come dalla sezione di Caposile, andando verso valle lungo il Sile, l'oscillazione della marea risulti sempre più accentuata, fino a divenire dominante rispetto ai sovralti indotti dalla propagazione dell'onda di piena nelle sezioni poste in prossimità della foce.

Analizzando invece l'andamento delle portate, è possibile osservare come il colmo della piena defluisca senza apprezzabili modificazioni attraverso le prime due sezioni considerate (Trepalade e Portegrandi), mentre nelle successive sezioni (quindi a valle dello sfioratore in laguna) si può osservare una notevole laminazione dell'onda di piena e un andamento della portata sempre più influenzato dalle oscillazioni di marea.

La Fig. 7.9 riporta a sua volta l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza dello sfioratore del Sile. E' interessante osservare come lo sfioratore scarichi una portata massima di circa 60 m³/s al passaggio del colmo della piena, lasciando i circa 80 m³/s rimanenti al Sile stesso.

La Fig. 7.10 riporta infine il profilo involuppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione. In essa è possibile riconoscere che franchi inferiori al metro rispetto alle sommità arginali si verificano soprattutto nelle parti a monte dello sfioratore e che comunque i valori minimi del franco (comunque mai inferiori a 0.80 m) sono riscontrabili lungo l'argine destro. Nel corso della simulazione il modello non segnala dunque tracimazioni delle arginature maestre (tranne, evidentemente, la portata sfiorata dallo sfioratore verso la laguna).

7.4.3 *Caso B - Esame della propagazione di una piena centenaria nel Sile senza considerare il contributo della rete minore ipotizzando alla foce un'alta marea eccezionale con livello massimo di 1.75 m s.l.m.*

Un secondo caso esaminato riguarda la propagazione della stessa piena descritta nei paragrafi precedenti ($Q_{\max} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$ a Quarto d'Altino), ma assegnando alla foce del Sile una marea oscillante, questa volta, attorno al livello +1.25 m s.l.m.. In questo modo si sono voluti esaminare gli effetti sugli stati idrometrici massimi che si determinano nel corso del Sile quando in mare si verifica un'alta marea eccezionale con valore massimo di 1.75 m s.l.m. (cfr. Fig. 7.11).

Le condizioni iniziali per il Sile sono state mantenute invariate rispetto al precedente caso A.

Le Figg. 7.12, 7.13 e 7.14 illustrano alcuni risultati significativi della simulazione.

Analizzando in particolare la Fig. 7.12 e confrontandola con la corrispondente Fig. 7.8 del precedente caso A, è possibile osservare come i valori dei livelli massimi nel Sile siano confrontabili nella sezione di Trepalade (anche se con oscillazioni più accentuate), mentre siano più elevati nelle sezioni di Caposile e Portegrandi (di circa 0.3 e 0.5 m rispettivamente). L'elemento che appare più evidente è la forte oscillazione dei livelli, non solo per le sezioni più prossime alla foce, ma anche per le sopraccitate stazioni di monte, che risentono, attraverso lo sfioratore del Sile, dell'oscillazione della marea in laguna. Una forte oscillazione si registra

anche per la portata fluente, per le sezioni poste a valle dello sfioratore stesso. Tali risultati mettono in evidenza il ruolo predominante della marea nella determinazione delle condizioni idrodinamiche in questo tratto del fiume.

In Fig. 7.13 è riportato l'andamento del livello nel Sile e nello sfioratore. Si osserva che sui colmi di marea il livello a monte, a valle e sullo sfioratore sia pressoché il medesimo, questo ad indicare come sia l'oscillazione di marea in laguna a determinare i livelli nel Sile a monte e a valle dello sfioratore stesso. L'andamento della portata nel Sile e nello sfioratore indica a sua volta, rispetto alla corrispondente Fig. 7.9, valori massimi sfiorati dal Sile in laguna superiori di circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto al caso precedente (e, conseguentemente, valori ridotti della stessa entità a valle).

La Fig. 7.14 riporta infine l'andamento del profilo inviluppo dei livelli massimi. Si può osservare come sia evidenziato quanto detto sopra, ossia che, a parità di portata rispetto al caso precedente, in questo caso per effetto dei più alti livelli di marea che si stabiliscono alla foce e a valle del varco di collegamento con la laguna le altezze d'acqua massime nel Sile siano sostanzialmente più elevate rispetto al caso precedente. Valori del franco idraulico ridotti fino al limite dell'annullamento si registrano in prossimità di Jesolo e di Cà Porcia, zone sicuramente a rischio di inondazione nel caso di un evento confrontabile con quello simulato. Il modello segnala, infatti, in questi tratti, alcune, sia pur modeste esondazioni. Queste si verificano soprattutto in destra idrografica, ovvero verso la laguna, senza pertanto produrre situazioni preoccupanti, ma sono segnalate dal modello anche lungo l'argine sinistro in corrispondenza dell'abitato di Jesolo, dove le quote delle sommità arginali tendono ad abbassarsi.

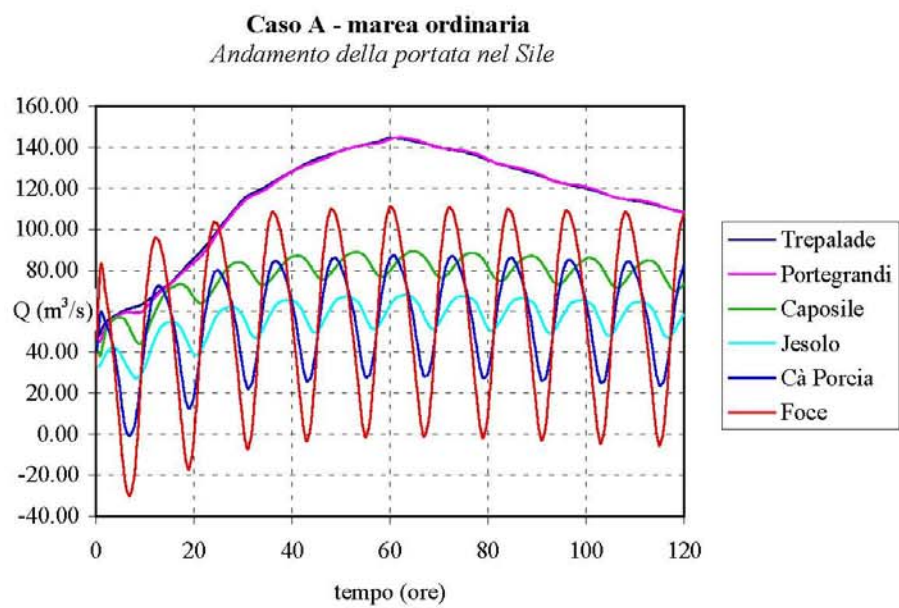
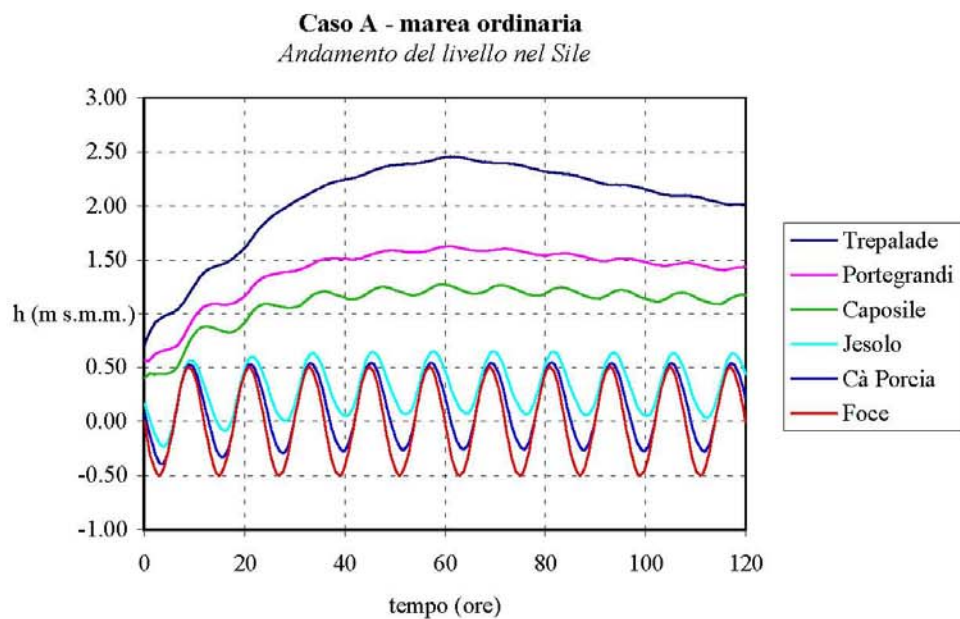


Fig. 7.8 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Sile a valle di Quarto d'Altino nella simulazione della propagazione di una piena centenaria senza considerare il contributo della rete minore. Caso A: marea ordinaria.

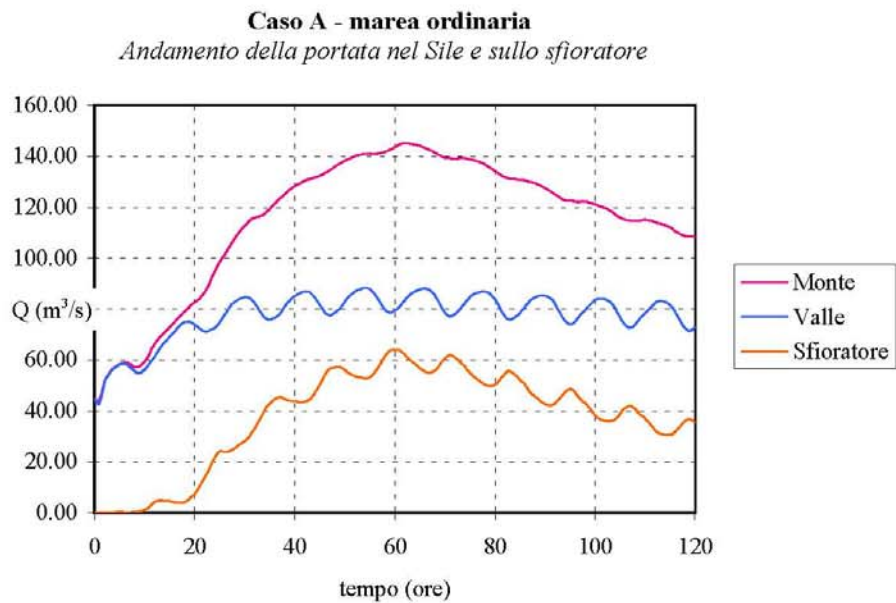
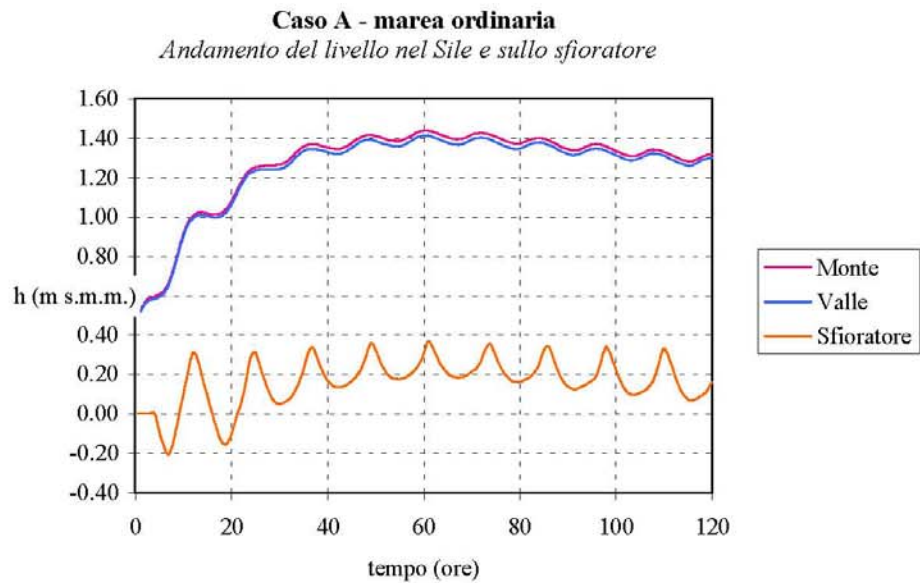


Fig. 7.9 - Andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza dello sfioratore del Sile nella simulazione della propagazione di una piena centenaria senza considerare il contributo della rete minore. Caso A: marea ordinaria.

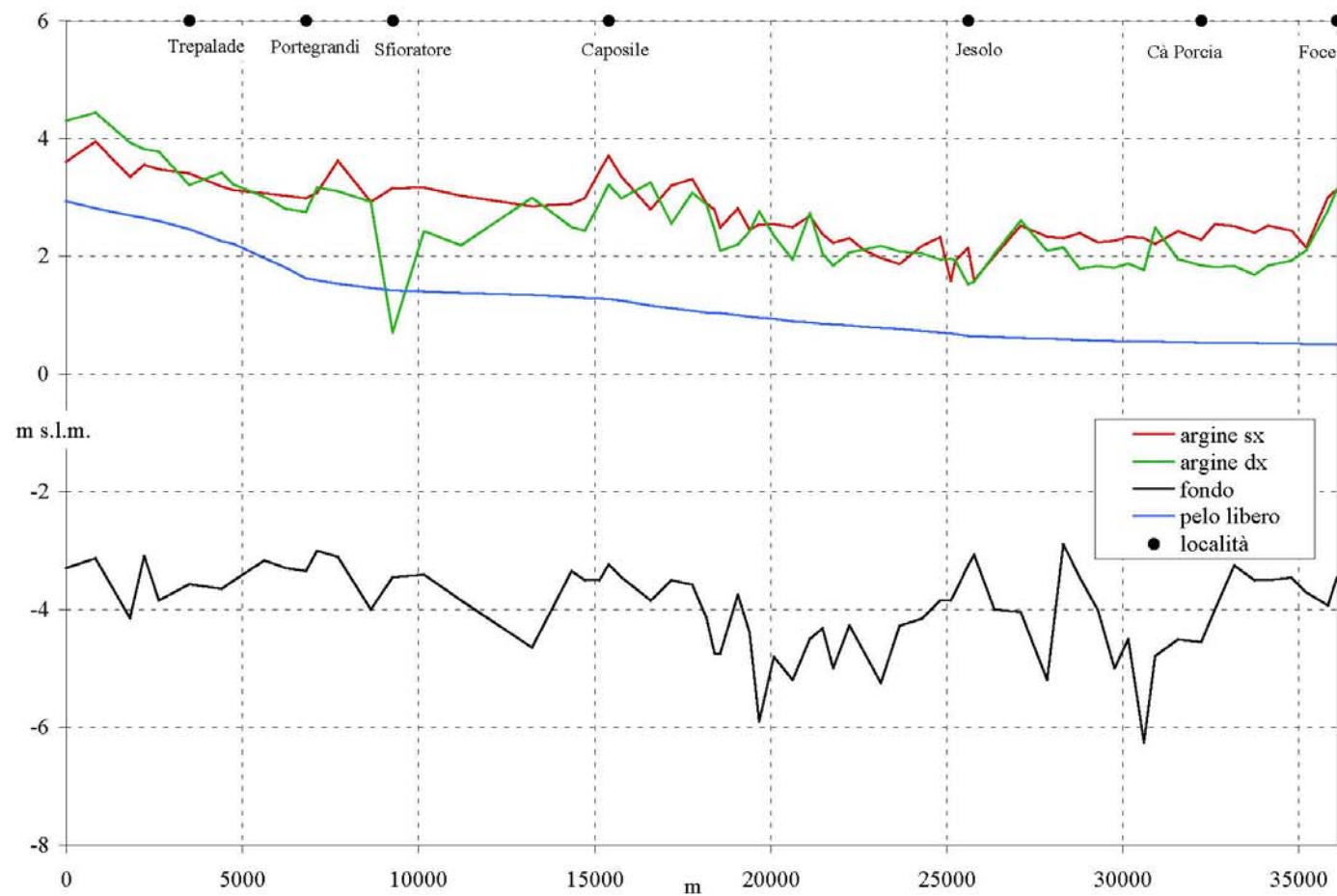


Fig. 7.10 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione con $Tr = 100$ anni e marea ordinaria (caso A)

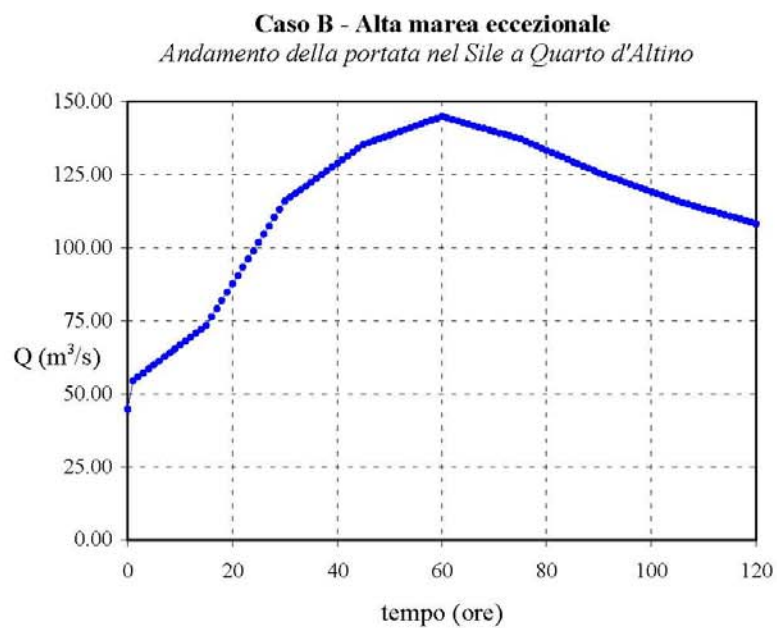
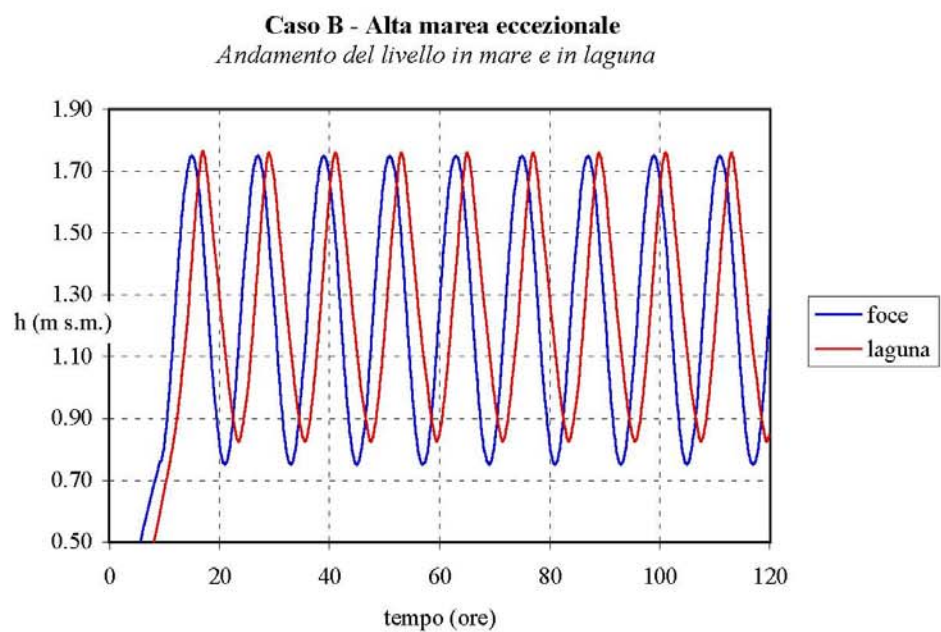


Fig. 7.11 - Condizioni al contorno assegnate nelle sezioni di monte e di valle nella simulazione relativa al caso B.

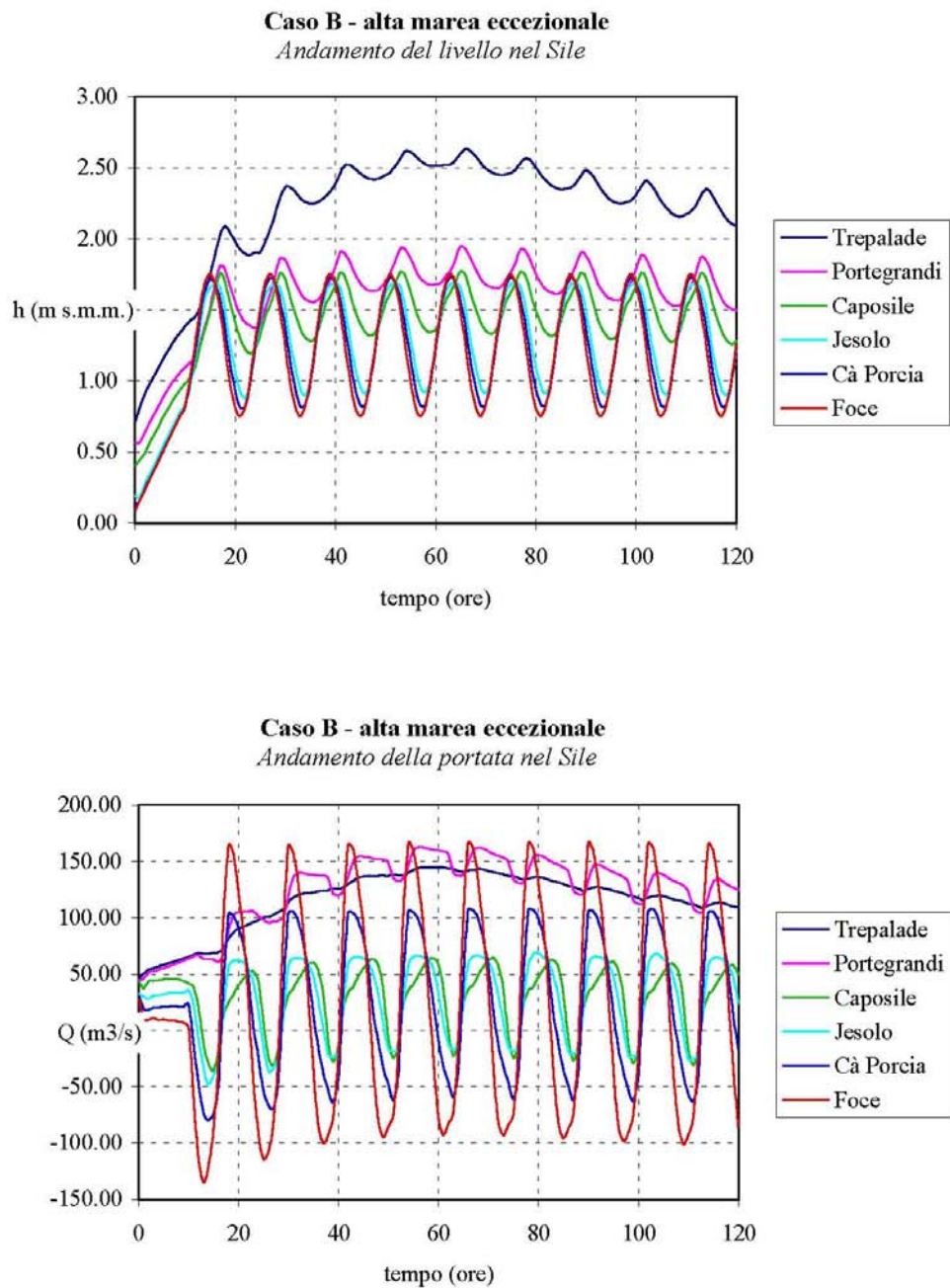


Fig. 7.12 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Sile a valle di Quarto d'Altino nella simulazione della propagazione di una piena centenaria senza considerare il contributo della rete minore. Caso B: alta marea eccezionale.

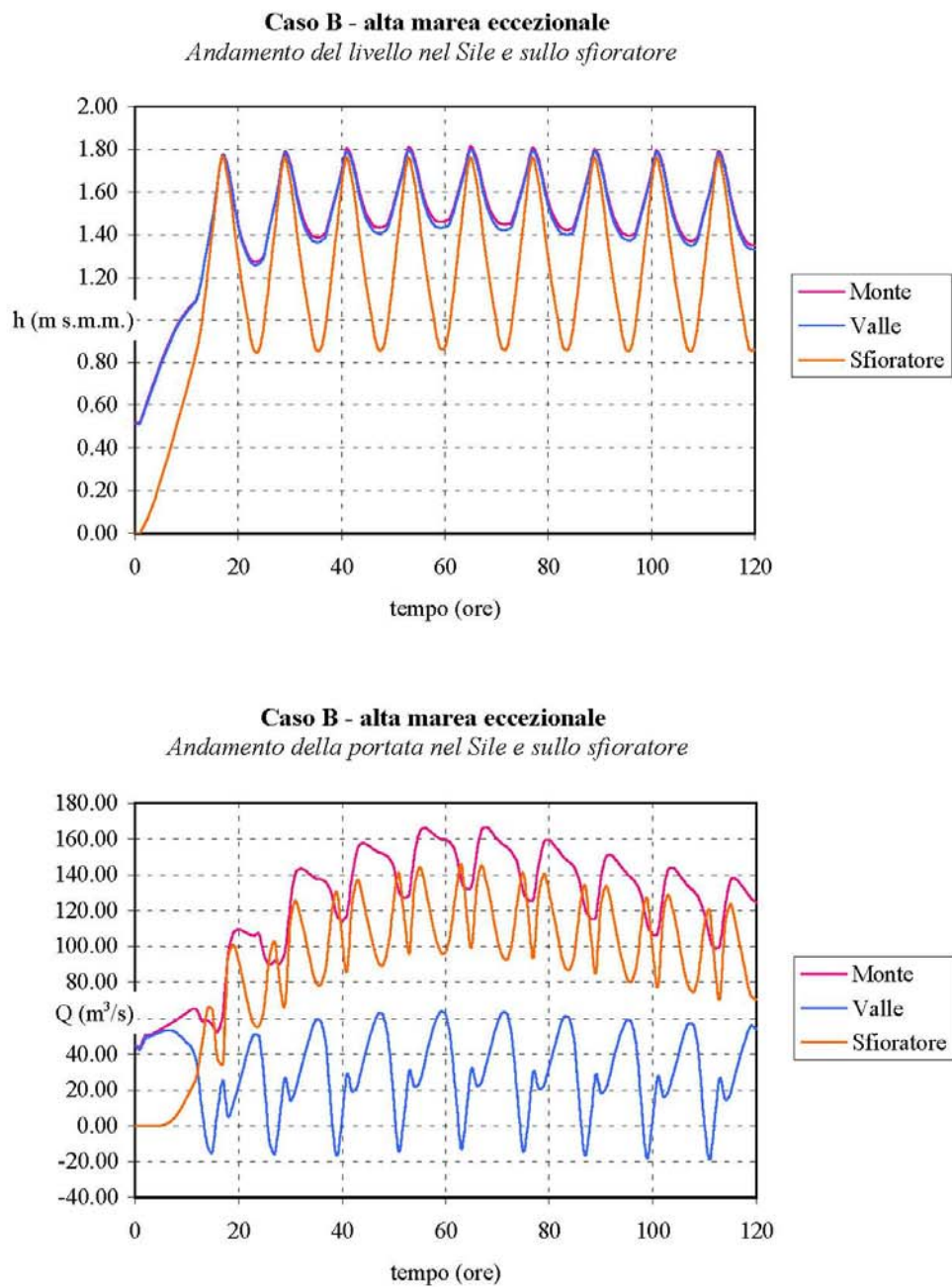


Fig. 7.13 - Andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza dello sfioratore del Sile nella simulazione della propagazione di una piena centenaria senza considerare il contributo della rete minore. Caso B: alta marea eccezionale.

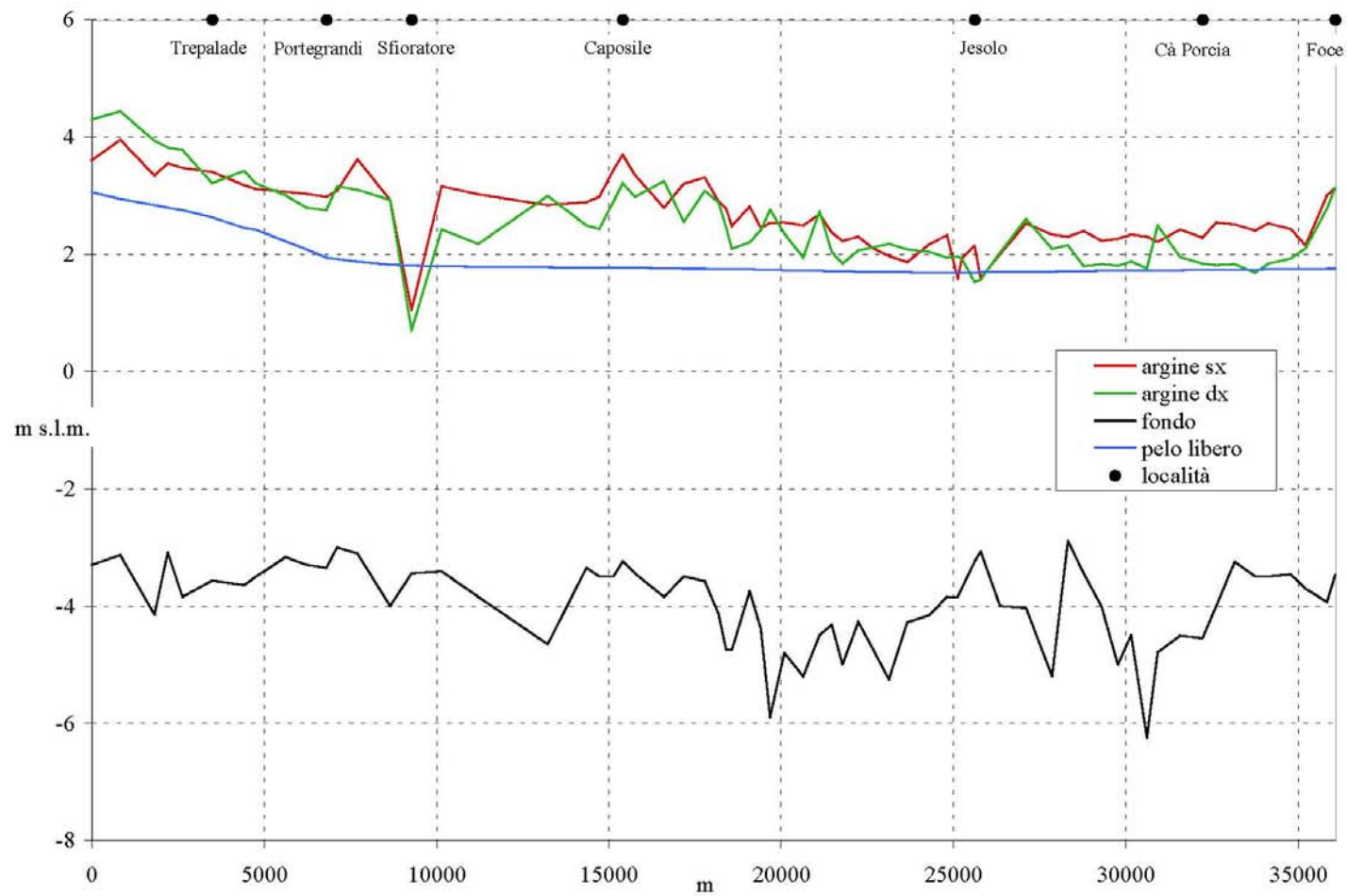


Fig. 7.14 - Profilo inviluppo dei livelli massimi calcolati nella simulazione con $T_r = 100$ anni e alta marea eccezionale (caso B)

7.5 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Le simulazioni condotte con il modello matematico uni-bidimensionale sul comportamento idraulico del tratto terminale del Sile hanno consentito di esaminare il comportamento del fiume in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi, per verificare le condizioni di rischio idraulico in cui si trova il territorio adiacente, potenzialmente interessato da eventuali fenomeni di esondazione del fiume.

Con queste finalità la modellazione ha preso in esame la porzione del territorio compresa tra la linea ferroviaria Venezia - Trieste a Nord, la linea di costa a Sud, l'argine del sistema Zero, Taglietto, Silone, Lovigno Dolce e Nuovo sino all'inizio del Taglio del Sile, la cui sponda destra delimita il comprensorio sino all'incontro dell'Argine San Marco e lungo questo è delimitato tutto il perimetro della Laguna Veneta a Ovest, l'argine del Fiume Piave a Est, per una superficie complessiva di circa 220 km².

Nella schematizzazione della rete idrografica, oltre al F. Sile, sono stati inseriti anche i corsi d'acqua secondari e i collettori della rete di bonifica e sono stati considerati i principali manufatti idraulici che controllano il funzionamento della rete minore.

Dati gli scopi dell'indagine, in questo caso finalizzata principalmente alla caratterizzazione del rischio idraulico connesso con le eventuali esondazioni del corso d'acqua principale, non si sono considerati i contributi delle precipitazioni dirette al suolo sul territorio esaminato. Ciò pone dei limiti ai risultati ottenuti, poiché essi non tengono conto del contributo alle portate massime del Sile dovuto al funzionamento dei numerosi impianti idrovori presenti lungo il corso del fiume.

Con una prima simulazione, è stata esaminata la propagazione nel Sile di un'onda di piena con portata al colmo pari a 145 m³/s alla sezione di Quarto d'Altino, e condizioni al contorno di marea ordinaria (oscillante tra -0.5 e + 0.5 m s.l.m.).

Pur essendo il tempo di ritorno di tale onda di piena valutabile in circa 100 anni, in tali ipotesi dal calcolo non sono emerse condizioni idrometriche particolarmente critiche. Il franco minimo rispetto alle sommità arginali si mantiene lungo tutto il tratto considerato nell'ordine di circa 1 m ed è da ritenere che tale situazione non dovrebbe essere sostanzialmente modificata anche se si considerasse il simultaneo verificarsi di una piena nella rete minore che contribuisca ad incrementare ulteriormente le portate fluenti nel Sile. Risulta particolarmente significativo il ruolo del varco (sfioratore) che mette in comunicazione il Taglio del Sile con la laguna a valle di Portegrandi, il quale contribuisce sostanzialmente a limitare il sovrizzo del livello in tutto il tratto terminale.

Una seconda simulazione ha riguardato l'esame delle modalità di propagazione di una piena analoga alla precedente (portata al colmo pari a 145 m³/s alla sezione di Quarto d'Altino) considerando in aggiunta l'ipotesi di un'alta marea eccezionale in grado di portare i livelli massimi alla foce fino a +1.75 m s.l.m..

I calcoli eseguiti hanno dimostrato che le maggiori altezze della marea hanno un effetto predominante sia nelle tratte situate nelle vicinanze della foce del Sile, sia in quelle situate più a monte, a causa anche in questo caso dello sfioratore posto sul Taglio del Sile a valle di Portegrandi. Sembra essere quest'ultimo elemento, infatti, ad assumere un ruolo fondamentale nel contenere i livelli massimi che si stabiliscono nel tratto terminale del Sile e anche più a monte. Il suo funzionamento risulta essere determinato dai livelli che si stabiliscono nella parte settentrionale della laguna, i quali a loro volta subiscono un sensibile sfasamento e una notevole riduzione di ampiezza rispetto alla marea in mare. Al variare del tipo di marea utilizzato

l'andamento delle portate scambiate tra Sile e laguna varia sensibilmente e ciò condiziona fortemente l'andamento delle portate del fiume al punto che può verificarsi che, anche per eventi come quelli considerati, le portate sfiorate in laguna siano maggiori di quelle in arrivo da monte, con conseguente inversione del flusso a valle dello sfioratore stesso. Sempre nelle ipotesi di alte maree eccezionali si ravvisa inoltre una situazione di rischio nei dintorni di Jesolo e di Cà Porcia, con valori del franco idraulico molto esigui o addirittura negativi sia in sponda destra che in sponda sinistra. Tali tratte risultano essere pertanto quelle soggette al maggiore rischio di esondazione nel caso di eventi particolarmente gravosi.

8. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL BACINO DEL DESE

8.1 Caratteri idraulici del territorio

La modellazione comprende il territorio facente parte della Provincia di Venezia, situato tra il fiume Sile, a Nord Est, la laguna di Venezia ad Est e Sud Est, la ferrovia Venezia Trento e la sponda destra del Fiume Marzenego ad Ovest. A Ovest e a Nord il territorio è delimitato da una serie di strade provinciali, esterne al confine della provincia di Venezia (Fig. 8.1). La superficie del bacino è pari a circa 300 km². Il territorio è solcato da una complessa rete idrografica in cui si distinguono i principali corsi d'acqua, Zero, Dese e Marzenego che solcano in direzione Nord Ovest – Sud Est il comprensorio e che recapitano le loro acque e quelle dei loro affluenti nella laguna veneta. Il drenaggio della rete minore avviene in parte a gravità e in parte a scolo meccanico.

Il territorio in esame presenta un andamento altimetrico digradante secondo la direttrice nord ovest – sud est. Le quote del terreno raggiungono al massimo 26 m s.l.m. nella estremità a nord ovest, per ridursi a valori prossimi ai -2 m s.l.m. nelle campagne della bonifica poste a sud est del comprensorio.

La attuale configurazione della rete idrografica, nonostante i non pochi interventi di sistemazione effettuati anche molto di recente, deriva sostanzialmente dagli interventi di ingegneria idraulica realizzati negli anni 30 in parte per la sistemazione dei corsi d'acqua principale, in parte per realizzare il sistema di canalizzazioni necessario per la bonifica delle campagne.

Per la valutazione degli elementi utili alla schematizzazione dei corsi d'acqua, si è fatto riferimento alla documentazione messa a disposizione dal Consorzio di Bonifica, ed in particolare agli elaborati del Piano Generale di Bonifica e ad un recente studio eseguito dal prof. V. Bixio per conto del Consorzio Venezia Nuova [8].

Dal punto di vista dei dati idrologici ed idraulici, si è riscontrata una generalizzata insufficienza delle informazioni necessarie per descrivere il regime dei corsi d'acqua del sistema, ed in particolare per caratterizzare eventi con tempi di ritorno dell'ordine di 50 e 100 anni come quelli cui il presente studio fa riferimento. Per tali scopi è stato necessario pertanto fare riferimento a stime, quasi sempre indicative, riportate nel Piano Generale di Bonifica e in alcuni studi e progetti condotti nel passato. Deve tuttavia essere ricordato che alcune importanti indagini idrologiche ed idrauliche sia sperimentali che modellistiche sono attualmente in corso (ci si riferisce in particolare al modello SALVE e al progetto DRAIN, da parte del Consorzio Venezia Nuova, e agli studi finalizzati all'elaborazione del Piano di Bacino del Bacino Scolante da parte della Regione Veneto), così come diversi progetti di sistemazione idraulica a cura del Consorzio di Bonifica.

Le elaborazioni qui condotte assumono pertanto un carattere principalmente indicativo. La schematizzazione predisposta, tuttavia, potrebbe, una volta completati questi studi, essere facilmente aggiornata sulla base dei nuovi dati che si rendessero disponibili, in modo da validare i risultati ottenuti e migliorare in senso quantitativo l'attendibilità delle risposte fornite dal modello.

8.1.1 F. Dese

Il corso del Fiume Dese all'interno del comprensorio è interamente arginato e si sviluppa per una lunghezza complessiva di quasi 42 km dalla sezione di monte, all'altezza di Piombino, fino alla foce nella laguna veneta.

Il Dese è certamente il più importante corso d'acqua del bacino, sia per l'entità della superficie tributaria, sia per la quantità di aree urbanizzate di cui il fiume drena gli afflussi meteorici. A monte del territorio considerato il fiume possiede un bacino idrografico di circa 14 km². Inoltre esso riceve il non trascurabile contributo di Roggia Musonello e Rio Musoncello che scaricano portate massime dell'ordine di 4 m³/s provenienti dal nodo idraulico di Castelfranco (Musondei Sassi).

Fra gli affluenti all'interno del territorio considerato, quasi tutti in sinistra, attesa la particolare morfologia del terreno (cfr. Fig. 8.4), i più importanti, oltre al F. Zero, sono i canali Fossa Storta, Pianton, Peseggiana, Desolino, S. Martino e S. Ambrogio. Inoltre il Dese costituisce il recapito dei due importanti bacini a scolo meccanico Cattal e Zuccarello, serviti dalle idrovore omonime. Nei pressi della foce lagunare, dal Dese si diparte il ramo secondario del Canale di S. Maria.

Il comportamento idraulico del corso terminale del Dese in fase di piena è principalmente condizionato, oltre che dal regime idrologico delle portate in arrivo da monte, dai livelli di marea che si stabiliscono in laguna. E' da evidenziare al riguardo che, a causa dei marcati fenomeni di stratificazione che si stabiliscono al contatto tra acque dolci e salate in prossimità della foce lagunare, l'approccio bidimensionale qui seguito non consente di rappresentare correttamente la reale natura del sistema idrodinamico. Tuttavia, dato il carattere principalmente indicativo proprio, per quanto già detto, delle simulazioni qui eseguite, tale approssimazione è da ritenersi accettabile. In una fase successiva le indagini su questi corsi d'acqua potrebbero essere ripetute, se supportate da un congruo numero di elementi sperimentali di verifica, utilizzando lo stesso modello matematico nella sua formulazione tridimensionale multistrato, che consente proprio di simulare la circolazione delle correnti fluviali e di marea, considerando i fenomeni idrodinamici legati alle variazioni di salinità delle acque.

8.1.2 *F. Zero*

Il F. Zero scorre completamente arginato a cavallo del limite settentrionale del territorio provinciale essendone effettivamente incluso solo per alcuni tratti. Per completezza di indagine, tuttavia, sono state considerate anche delle tratte del corso d'acqua esterne al confine provinciale, in modo da considerarne il corso completo da Zero Branco alla foce. Nel suo complesso l'estensione del F. Zero presa in esame è pari circa 25 km.

Il fiume presenta caratteristiche morfologiche molto simili a quelle del Dese. A monte del territorio considerato possiede un bacino tributario di superficie approssimativamente pari a 35 km².

All'interno del territorio considerato esso raccoglie nella parte alta e mediana del suo corso acque a scolo naturale provenienti da fossi e canali situati in sponda destra e sinistra. Per importanza fra gli affluenti vanno ricordati lo Zermason e il Vernise. Prima di immettersi nel Dese in prossimità della foce lagunare, lo Zero drena le acque sollevate dell'idrovora Carmason, che seve il territorio di un ampio bacino nella zona di Quarto D'Altino.

8.1.3 *F. Marzenego*

Il F. Marzenego riceve anch'esso un significativo contributo dal bacino del Muson dei Sassi attraverso il C. Brentella (portata massima dell'ordine di 7 m³/s), e dispone di un bacino tributario, a monte della sezione di ingresso nel comprensorio, di estensione valutabile in circa 30 km².

Dal suo ingresso nel territorio della Provincia di Venezia fino all'altezza di Robegano, il F. Marzenego segue un corso molto tortuoso. In questo tratto riceve le acque del Rio Draganziolo

che per dimensioni del bacino tributario consegna portate confrontabili con quelle del Marzenego stesso.

Da Robegano a Mestre il corso del fiume segue un andamento più regolare. All'altezza dell'abitato di Mestre esso è sottopassato da tre importanti botti a sifone e sempre in tale zona esso si separa in due rami (Campana e Beccherie, entrambi estesi per circa 1200 m). Fino a tale diramazione il corso del Marzenego si sviluppa interamente arginato per una lunghezza che supera i 24 km. Dalla confluenza dei due rami ha origine il Canale Osellino, anch'esso arginato, la cui lunghezza è di poco più di 8 km e che prima di sfociare nella laguna drena importanti contributi di bacini a scolo meccanico recapitati dalle idrovore Campalto e Tessera.

8.1.4 La rete di bonifica

Il territorio considerato è suddiviso in numerosi sottobacini per i quali i fiumi principali Dese, Zero e Marzenego fungono da collettori principali. In generale, gli affluenti della parte di monte (a occidente) sono a scolo naturale, mentre i rimanenti sono a scolo meccanico.

Nel sistema a scolo naturale i corsi d'acqua principali sono i già citati Fossa Storta, Pianton, Peseggiana, Desolino, S. Martino, S. Ambrogio, Zermason, Vernise e Draganziolo. La maggior parte di questi trae origine entro il comprensorio o immediatamente al di fuori dello stesso.

La Fossa Storta e lo Scolo Pianton nascono ad ovest dell'abitato di Mogliano Veneto. Dopo aver attraversato questo centro abitato percorrono per un tratto corsi paralleli prima di recapitare, in punti diversi, le loro acque nel Dese. Lo scolo Peseggiana trae origine a nord dell'abitato di Peseggia e, dopo averlo attraversato, costeggia per breve parte la Strada Statale 13 Pontebbana per poi immettersi in sponda sinistra del Dese. I Rii Desolino, S. Martino e S. Ambrogio hanno un andamento pressoché parallelo da nord – ovest a sud – est (andamento naturale della pendenza del terreno) e si immettono anch'essi in sponda sinistra del Dese.

I Rii Vernise e Zermason hanno entrambi origini esterne al comprensorio. Il primo nasce a sud dell'abitato di Morgano e si immette nello Zero in sponda destra, mentre il secondo trae origine a Zero Branco e si immette in sponda sinistra dello Zero.

Il Rio Draganziolo nasce presso Piombino Dese e dopo aver attraversato gli abitati di Trebaseleghe e Noale si immette in sponda sinistra del Marzenego.

Il sistema a scolo meccanico fa capo a 9 impianti idrovori, di cui 6 sono gestiti dal Consorzio di Bonifica Dese Sile, e i rimanenti sono privati. Le caratteristiche principali degli impianti sono indicate nella seguente tabella 8.1.

Le bonifiche private, situate a sud di Portegrandi, coprono complessivamente una superficie di circa 1000 ha e scaricano le portate sollevate dai loro impianti idrovori direttamente in laguna.

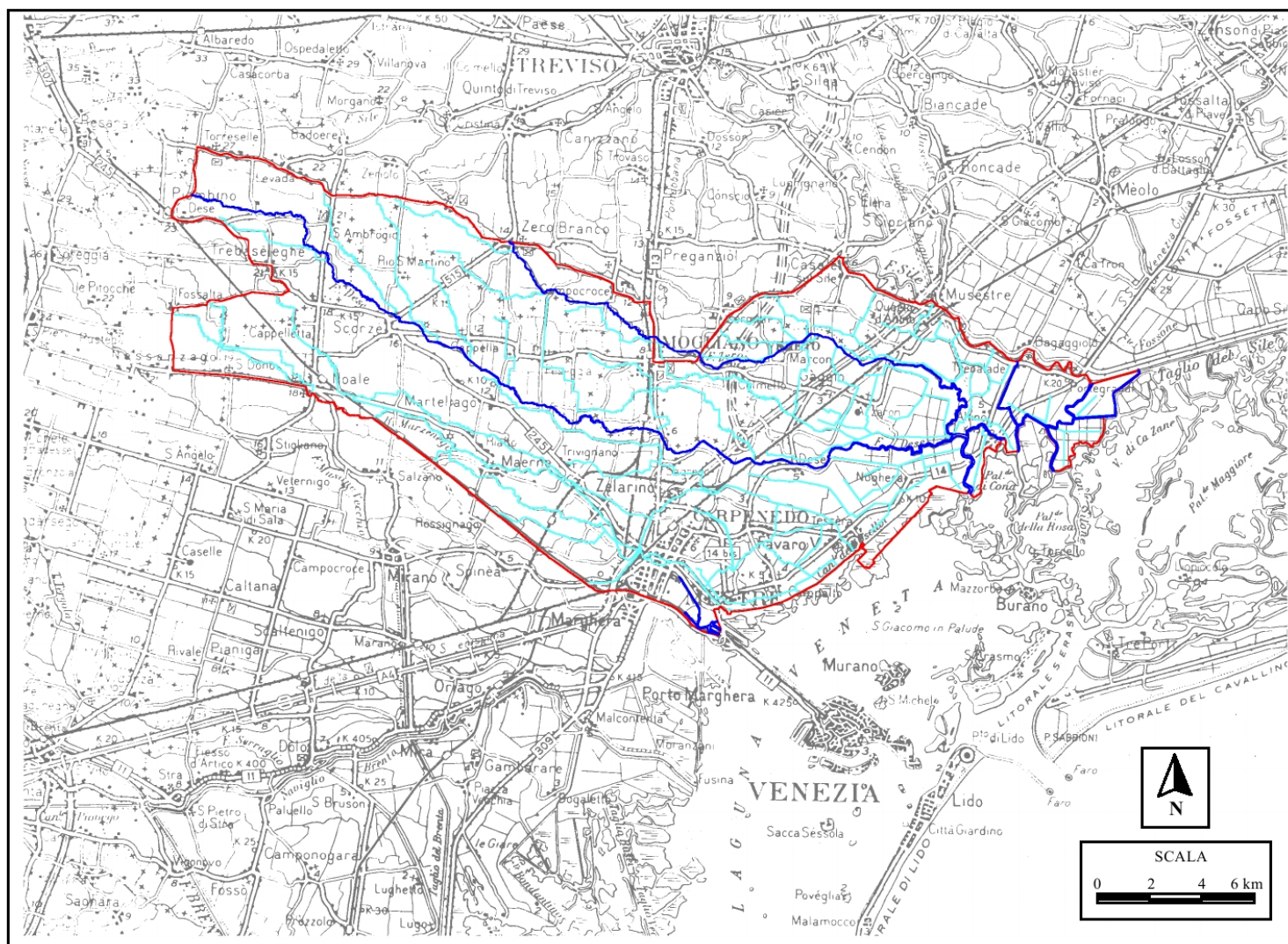


Fig. 8.1 - Corografia del bacino del Fiume Dese e del territorio ad esso adiacente considerato nell'indagine.

8.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Per mettere a punto il modello matematico uni-bidimensionale del territorio considerato si è fatto riferimento alla metodologia illustrata nel precedente capitolo 2. Come nei casi precedenti, il territorio è stato descritto predisponendo un reticolo di elementi bidimensionali triangolari, al quale è stata sovrapposta la rete dei canali unidimensionali.

Per rappresentare nello schema di calcolo la rete idraulica principale e secondaria, si fatto principalmente riferimento ai dati informatizzati contenuti nel già citato studio redatto dal prof. V. Bixio per conto del Consorzio Venezia Nuova [8]. Ai dati di tale sistema informativo è stata associata la base cartografica della Carta Tecnica Regionale 1:10.000 in formato raster, utilizzata in particolare per digitalizzare il tracciato di tutti gli elementi unidimensionali rilevanti ai fini dei calcoli. Tali elementi sono rappresentati da eventuali corsi d'acqua non inclusi nel sistema informativo, dai rilevati stradali e da tutti gli altri elementi che, potenzialmente, possono influire sulle modalità di propagazione delle acque sul territorio in caso di inondazioni. Il piano quotato della Carta Tecnica in formato vettoriale ha consentito inoltre l'assegnazione delle quote altimetriche agli elementi bidimensionali.

Dal sistema informativo messo a disposizione dalla Provincia di Venezia sono stati acquisiti, inoltre, i limiti dei centri abitati principali, in modo da evidenziare gli effetti dei fenomeni di allagamento con riferimento agli insediamenti.

Le seguenti Tabb. 8.2, 8.3 e 8.4 riportano i dati essenziali sulle sezioni utilizzate per la schematizzazione del corso rispettivamente dei Fiumi Dese, Zero e Marzenego dal limite del comprensorio al mare.

Nella Fig. 8.2 sono riportati i principali elementi geografici, morfologici ed idraulici utilizzati per la rappresentazione del comprensorio con il modello matematico.

Gli stessi elementi morfologici sono rappresentati alla scala 1:50.000 nell'allegato elaborato Tav. 3.

La Fig. 8.3 riporta, a sua volta, il reticolo di calcolo utilizzato per schematizzare il comprensorio. Esso risulta formato da 6116 nodi, 9127 elementi bidimensionali, 1104 canali unidimensionali, e 899 tronchi speciali, questi ultimi utilizzati per descrivere il funzionamento degli argini dei corsi d'acqua in caso di sormonto degli stessi. Dalla figura, si può notare che le dimensioni e la forma degli elementi sono variabili (le lunghezze dei lati dei triangoli variano da un minimo di circa 10 m ad un massimo di circa 800 m), in modo da seguire il più accuratamente possibile le variazioni altimetriche del territorio. In base a questo criterio le dimensioni degli elementi sono maggiori nelle parti del comprensorio dove il territorio è regolare e pianeggiante, mentre si riducono dove l'altimetria del terreno è più irregolare o in prossimità dei rilevati.

Il reticolo di calcolo è rappresentato, inoltre, nell'allegata Tav. 4 in scala 1:50.000, per una più chiara rappresentazione dei dati in esso contenuti, con particolare riferimento ai nodi sui quali, come verrà meglio descritto nel seguito, sono state assegnate le condizioni al contorno per le simulazioni.

Nella successiva Fig. 8.4 è rappresentata con una scala di colori la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. L'immagine evidenzia chiaramente che, come già ricordato precedentemente, la parte nord ovest del comprensorio è caratterizzata da quote più elevate e da una significativa pendenza dei terreni in direzione Nord Ovest - Sud Est.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione idraulica del sistema, sono stati assunti sulla base delle precedenti esperienze. Si è pertanto adottato un coefficiente di scabrezza secondo Strickler pari a $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per gli alvei dei corsi d'acqua

principali (Dese e Zero) schematizzati con elementi bidimensionali, mentre valori di scabrezza pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ sono stati adottati per i corsi d'acqua minori, schematizzati con elementi unidimensionali. Valori del coefficiente di scabrezza pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ sono stati assunti per gli elementi in rilevato (strade e ferrovie), e di $16 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi che descrivono la restante parte del territorio (campagne, centri abitati).

Va ribadito al riguardo che in questo caso non è stato possibile disporre di misure contemporanee di livello e di portata, necessarie per la taratura del modello, nemmeno per i fiumi principali. Si auspica che i succitati studi attualmente in corso da parte degli enti competenti (in particolare le indagini effettuate nell'ambito del progetto DRAIN attualmente in via di completamento) possano mettere nel prossimo futuro a disposizione gli elementi sia sperimentali sia modellistici raccolti, i quali potranno sicuramente fornire una significativa banca dati utile ai fini della validazione del modello.

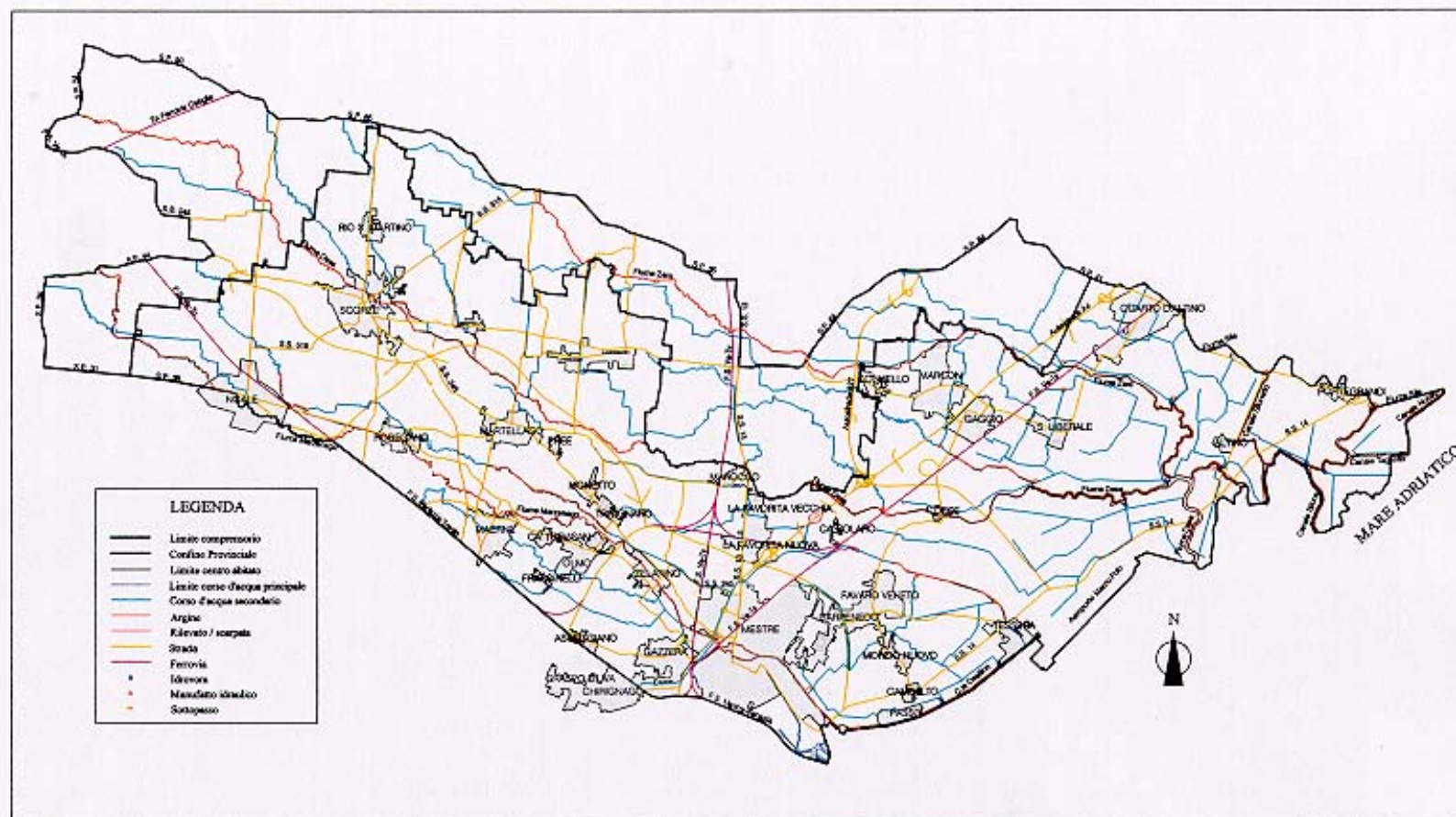


Fig. 8.2 - Bacino del Dese. Schematizzazione del territorio considerato nell'indagine. Scal 1:150.000.

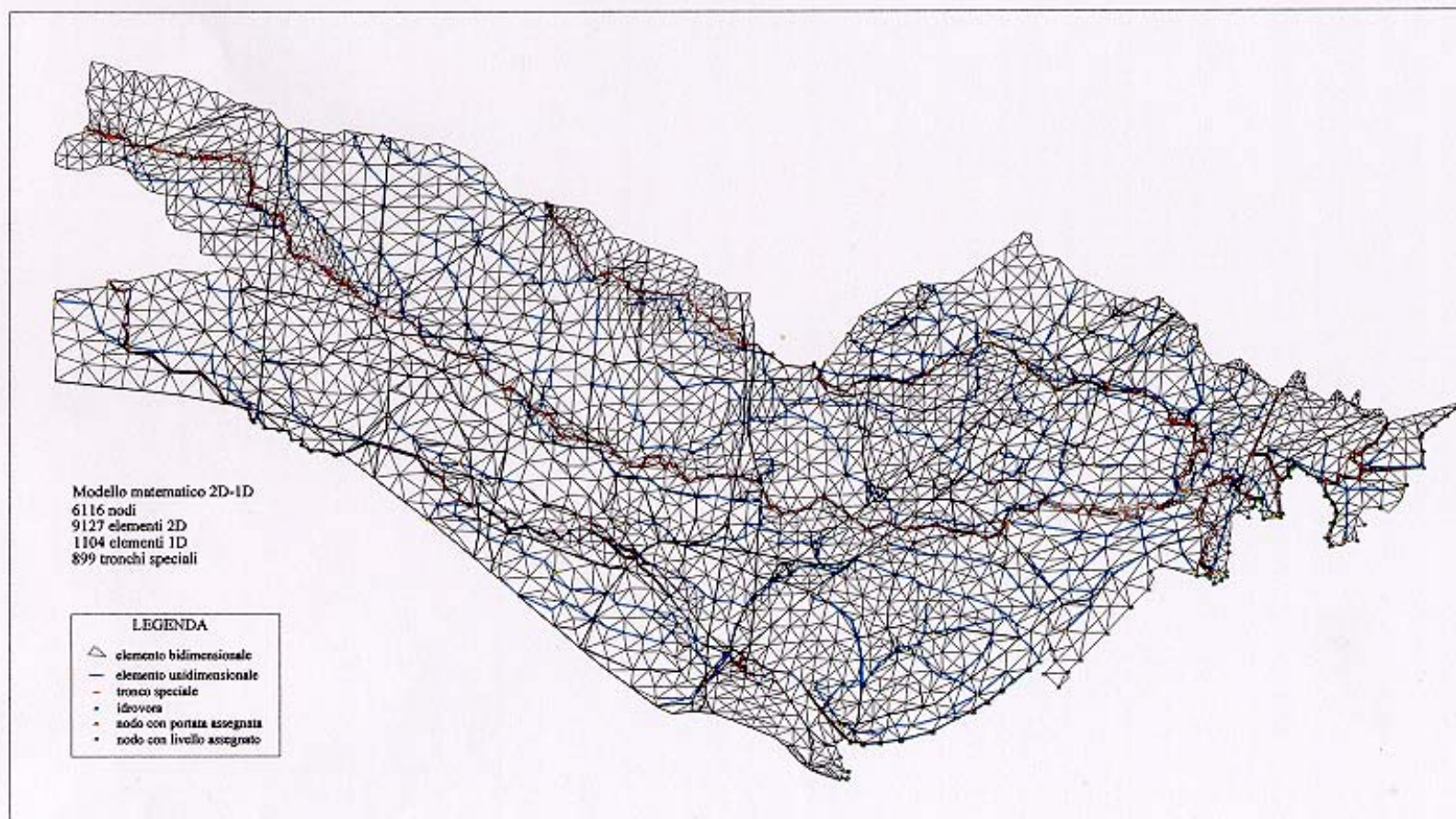


Fig. 8.3 - Bacino del Dese. Reticolo di calcolo del modello uni-bidimensionale. Scala 1:150.000.

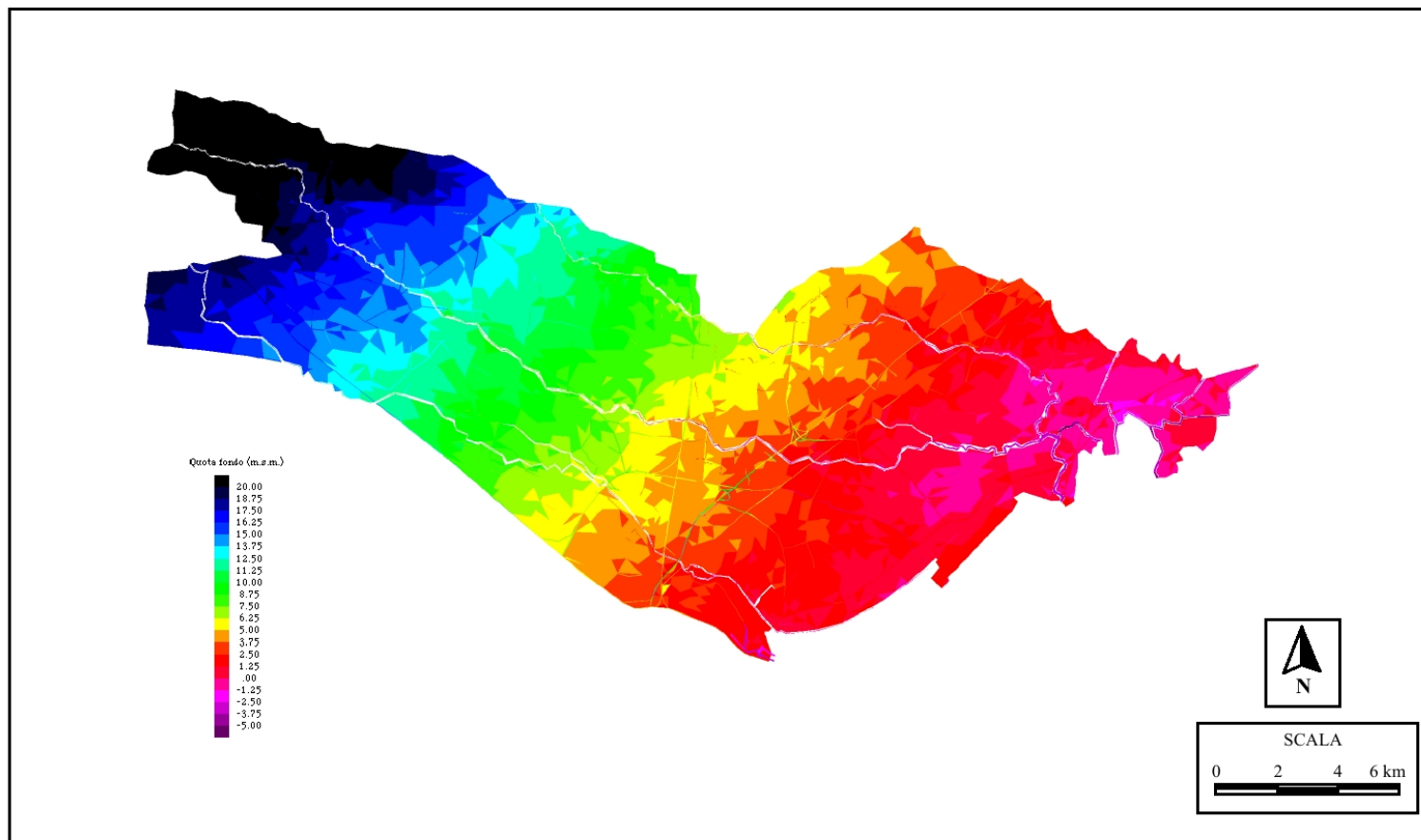


Fig. 8.4 - Bacino del Fiume Dese. Schematizzazione dell'altimetria del territorio con il modello matematico.

8.3 Condizioni al contorno

8.3.1 *Stima delle portate massime nei canali della rete idrografica*

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni numeriche consistono principalmente, come si è visto, nell'assegnazione dell'andamento delle portate entranti nel sistema in corrispondenza di nodi prefissati. In tale modo è possibile simulare il contributo delle varie superfici scolanti al riempimento della rete.

Nel caso in esame, le simulazioni sono state effettuate considerando non solo il funzionamento idraulico dei fiumi principali, ma anche quello dei principali canali della rete minore. Ciò è stato reputato necessario dal momento che le portate di piena dei corsi d'acqua principali (Dese, Zero, Marzenego) sono alimentate in modo preponderante dai contributi degli affluenti che immettono, a scolo gravitazionale o meccanico, le proprie acque nei corsi principali stessi.

In mancanza di dati osservati, le simulazioni hanno preso in considerazione degli ipotetici eventi ricostruiti utilizzando un modello idrologico di generazione delle piene a partire dalle precipitazioni.

Nell'applicazione è stato utilizzato un modello matematico idrologico afflussi-deflussi, del tipo a parametri concentrati, basato su una generalizzazione del metodo dell'idrogramma unitario nella formulazione di Nash, sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale S.r.l., ampiamente collaudato sulla base di numerose applicazioni a situazioni analoghe alla presente.

Per l'analisi, sono stati considerati i corsi d'acqua principali, Dese, Zero, Marzenego, le cui portate di piena si originano nei rispettivi bacini a monte del limite settentrionale del territorio in esame, e i corsi d'acqua secondari, le cui portate massime derivano invece dal contributo delle piogge dirette al suolo sul territorio stesso.

Nel primo caso, le condizioni al contorno sulle sezioni iniziali di tali corsi d'acqua sono state valutate applicando il modello idrologico ai rispettivi bacini di monte. Nel secondo caso, i vari sottobacini del comprensorio sono stati raggruppati in tre classi omogenee per tipologia di superficie (agrario a monte, agrario a valle, urbano). Il calcolo è stato perciò eseguito applicando il modello, per ciascuna classe, ad un solo sottobacino rappresentativo di estensione pari a circa 500 ha.

In Tabella 8.5 sono riportati alcuni parametri morfometrici (lunghezza L dell'asta, area A del bacino, differenza $H_{med}-H_{sez}$ tra la quota media del bacino e quella della sua sezione di chiusura.) utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione dei bacini di monte dei tre fiumi principali. Per quanto riguarda la stima del tempo al colmo dell'idrogramma unitario superficiale e profondo (t_s e t_p), per i corsi d'acqua principali si è fatto riferimento al tempo di corrivazione T_c calcolato con la relazione di Giandotti. Per il deflusso profondo si è assunto invece un valore del tempo al colmo dell'idrogramma unitario (t_p) pari a 1.5 – 2 volte quello considerato per il deflusso superficiale.

Nella Tabella 8.5 sono indicati anche i valori assunti per i parametri del modello, dai quali dipende la forma dell'idrogramma conseguente ad un impulso unitario di precipitazione. In generale, i valori dei parametri assunti, sono stati definiti sulla base di precedenti esperienze analoghe.

Per il cosiddetto “deflusso superficiale”, in analogia con situazioni simili, il valore di n_s è stato assunto costante e pari a 3 per ogni sottobacino, mentre per il “deflusso profondo” il valore di n_p è stato valutato pari alla metà di n_s .

Per quanto riguarda infine i coefficienti di deflusso superficiale Φ_s e totale Φ_{tot} i loro valori sono stati valutati in analogia con quelli di altri bacini della pianura veneta sui quali è stato applicato lo stesso tipo di calcolo.

Parametri\Bacini	Dese	Zero	Marzenego
L (km)	6.0	16.5	14.0
A (km ²)	14.0	35.0	30.0
Hmed-Hsez(m)	2.9	7.9	8.4
Tc (ore)	17.7	21.6	18.5
Tp (ore)	35.4	43.2	37.0
ns	3.0	3.0	3.0
np	1.5	1.5	1.5
φ_s (%)	20	20	20
φ_{tot} (%)	40	40	40

Tab. 8.5 – Parametri morfometrici utilizzati per il calcolo dei tempi di corrivazione, e parametri principali assunti nel modello afflussi – deflussi per i tratti di monte dei tre fiumi principali.

Per quanto riguarda il regime pluviometrico dei diversi bacini considerati, per il calcolo delle portate al colmo di piena conseguenti ad eventi con diverso tempo di ritorno (50 e 100 anni) e diverse durate dell'evento meteorico, si è fatto riferimento ai risultati delle elaborazioni statistiche dei dati di precipitazione massima registrati al pluviometro di Piombino Dese. Per quanto concerne la distribuzione dell'altezza di precipitazione nell'intervallo di tempo (durata dell'evento) considerato, si è assunta una distribuzione variabile secondo una particolare funzione di tipo Beta, che rappresenta una forma dello ietogramma che generalmente si adatta ad eventi reali.

Assumendo le ipotesi appena descritte, mediante il modello idrologico sono state generate le piene per i tratti di monte dei corsi d'acqua principali conseguenti a piogge con tempo di ritorno di 50 e 100 anni e durata variabile da 12 ore a 120 ore.

Nella Fig. 8.5 sono riportati gli andamenti degli idrogrammi di piena così calcolati per i corsi d'acqua in esame in corrispondenza della sezione di immissione nel territorio oggetto di studio. Dai grafici si rileva che, sulla base dei calcoli condotti, relativamente alle portate massime gli eventi meteorici critici per i bacini in esame hanno una durata relativamente elevata, pari a 96 – 120 ore. I valori al colmo degli idrogrammi di piena, per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, collocati tra la 52^{ma} e la 55^{ma} ora, sono pari rispettivamente a 8.1 m³/s e a 8.4 m³/s per il Dese (comprensivi della portata del Rio Musoncello), a 9.9 m³/s e a 10.6 m³/s per lo Zero e a 15.7 m³/s e a 16.4 m³/s per il Marzenego (comprensivi della portata del Brentella).

L'andamento nel tempo delle portate specifiche entranti sui nodi di immissione interni al dominio (nodi lungo i canali della rete di bonifica) è stato calcolato con un criterio analogo, ma considerando per le precipitazioni solo gli eventi con tempo di ritorno di 5-10 anni come descritto dal Piano Generale di Bonifica del Consorzio Dese Sile. In questo modo i risultati ottenuti si riferiscono al funzionamento dei fiumi principali (Dese, Zero e Marzenego) in occasione di portate in arrivo da monte aventi 50 o 100 anni di frequenza probabile di accadimento, in concomitanza con eventi di piena nella rete minore aventi tempo di ritorno di minore entità (5-10 anni). Tuttavia, dato il modesto contributo dei bacini di monte dei fiumi principali rispetto a quello dei bacini situati all'interno del territorio considerato, il contributo di

questi ultimi assume un ruolo prevalente ed è da ritenere pertanto che le simulazioni condotte possano essere rappresentative di situazioni la cui gravità può essere associata ad un tempo di ritorno dell'ordine di 10 anni.

Con riferimento a tale rete minore, per quanto riguarda la stima del tempo al colmo dell'idrogramma unitario superficiale e profondo (t_s e t_p) per i "bacini tipo" di 500 ha, si è fatto riferimento al tempo di corrivazione T calcolato le tre relazioni di seguito riportate, in relazione alla diversa tipologia dei bacini considerati (agrario a monte, agrario a valle, urbano):

- relazione di Giandotti

$$T = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H}}$$

nella quale:

- $T=14.5$ è il tempo di corrivazione del bacino elementare espresso in [ore];
- $A=5$ l'area del bacino elementare espressa in [km²];
- $L=2.236$ la lunghezza dell'asta del corso d'acqua espressa in [km];
- $H=0$ la differenza tra l'altitudine media del bacino e la quota della sezione di chiusura del bacino stesso espressa in [m].

- relazione di Ongaro per la bonifica

$$T = 0.18 \sqrt[3]{AL}$$

essendo:

- $T=9.66$ il tempo di corrivazione del bacino elementare espresso in [ore];
- $A=5$ l'area del bacino elementare espressa in [km²];
- $L=2.236$ la lunghezza dell'asta del corso d'acqua espressa in [km].
- relazione riportata in letteratura tecnica e largamente adottata nel calcolo delle reti di drenaggio urbano

$$t_s = t_{sec} + 1.03 \frac{(1.1 - C_d) \sqrt{L_{ov}}}{\sqrt[3]{i}}$$

nella quale il significato dei simboli è il seguente:

- $t_s=2.37$ è il tempo al colmo, espresso in [ore];
- $t_{sec}=60$ è il tempo impiegato dall'onda a percorrere i condotti della rete secondaria, espresso in [minuti];
- $C_d=0.7$ è il coefficiente di deflusso;
- $L_{ov}=400$ è la lunghezza in [m] del bacino drenato, oltre la lunghezza dei condotti;
- $i=0.001$ è la pendenza media del bacino.

Nel modello idrologico, al parametro t_s è stato attribuito un valore pari al tempo di corrivazione così calcolato. Per il deflusso profondo si è assunto, invece, un valore del tempo al colmo dell'idrogramma unitario (t_p) pari a 3 volte quello considerato per il deflusso superficiale. Per i valori dei parametri n_s ed n_p , si sono considerati, in analogia ai casi precedenti, per n_s valori pari a 3.0 e per n_p valori pari alla metà di questi.

Gli idrogrammi ottenuti con il calcolo (anch'essi con riferimento all'elaborazione delle piogge di Piombino Dese) sono stati ragguagliati al valore unitario in corrispondenza della portata al colmo, poiché, per ciascuno dei sottobacini considerati, le portate massime sono state dedotte, come si è già detto, dai dati reperiti nel Piano Generale di Bonifica. Gli idrogrammi sono stati inoltre traslati nel tempo in modo che i colmi di portata si verificano sempre in corrispondenza ai picchi degli idrogrammi della rete principale (55^{ma} ora circa, istante al quale si verifica la portata al colmo nella sezione di monte del Dese), in modo da riprodurre condizioni di simultaneità per le portate massime generate da ciascun sottobacino.

Nella già citata Fig. 8.5 sono riportati, per ciascuna tipologia di sottobacino, gli andamenti delle portate in forma adimensionale risultanti dall'elaborazione sopra descritta.

Nelle simulazioni, come detto poco sopra, le reali portate massime sono state valutate sulla base degli elementi reperibili negli elaborati del Piano Generale di Bonifica, che fanno riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 7 anni. Per ciascun sottobacino gli idrogrammi adimensionali di Fig. 8.5 sono stati perciò rielaborati, moltiplicandoli per tali portate massime tenendo conto della tipologia di ciascun sottobacino. Gli idrogrammi risultanti sono stati distribuiti, frazionandoli opportunamente, sui nodi del reticolo di calcolo individuati lungo i canali.

La tabella 8.6 riassume i risultati di questa elaborazione per tutti i sottobacini considerati.

Nella allegata Tav. 4 sono evidenziati i 104 nodi del reticolo di calcolo ai quali sono state associate le immissioni di portata.

8.3.2 Contributo degli impianti idrovori allo smaltimento delle portate di piena

Il collegamento tra i canali delle reti a scolo meccanico e i fiumi principali è stato descritto nel modello introducendo, come di consueto, una serie di tronchi speciali che simulano il funzionamento degli impianti idrovori. Per ciascun impianto, i dati sono costituiti dal numero di gruppi pompa installati, dalla portata sollevata da ciascuno di essi e dalle relative quote idrometriche di attacco e stacco.

La precedente tabella 8.1 riporta tali elementi per gli impianti del comprensorio, valutati sulla base dei dati forniti dal Consorzio di Bonifica Dese Sile. Non potendo disporre dei dati relativi agli impianti privati, per essi le portate sono state stimate sulla base della rispettiva superficie del territorio servito.

8.3.3 I livelli di marea sui nodi alla foce

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni, sono completate, come di consueto, dall'assegnazione dei livelli di marea sui nodi terminali dei corsi d'acqua alla loro foce in laguna.

Poiché, per tutto il sistema idrografico considerato, le oscillazioni del livello della laguna assumono un ruolo rilevante sulla propagazione delle piene e sui livelli massimi che si possono raggiungere in corrispondenza delle diverse sezioni dei corsi d'acqua, con le simulazioni si sono prese in esame due diverse condizioni di marea. In un primo caso è stata considerata un'ipotetica marea come quelle che possono verificarsi in condizioni di sizigia, con un andamento sinusoidale di periodo pari a 12 ore, ampiezza pari ad 1 m, oscillante attorno alla quota 0.0 m s.l.m.; in un secondo caso è stato simulato un evento di alta marea eccezionale, con massimo a +1.75 m s.l.m. per riprodurre, analogamente ai calcoli condotti per il bacino del Sile, condizioni idrometriche paragonabili a quelle verificatesi durante l'alluvione del 1966.

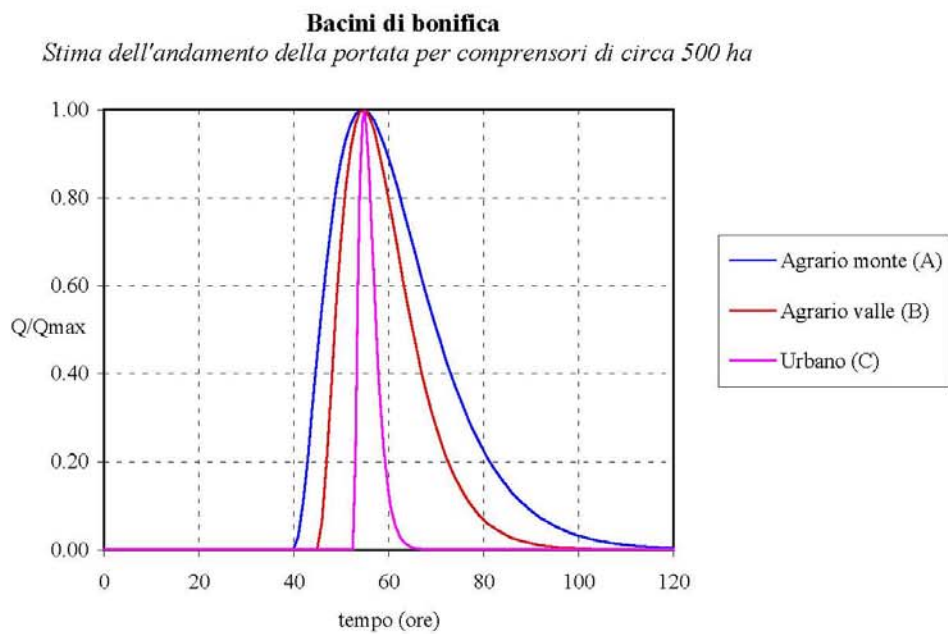
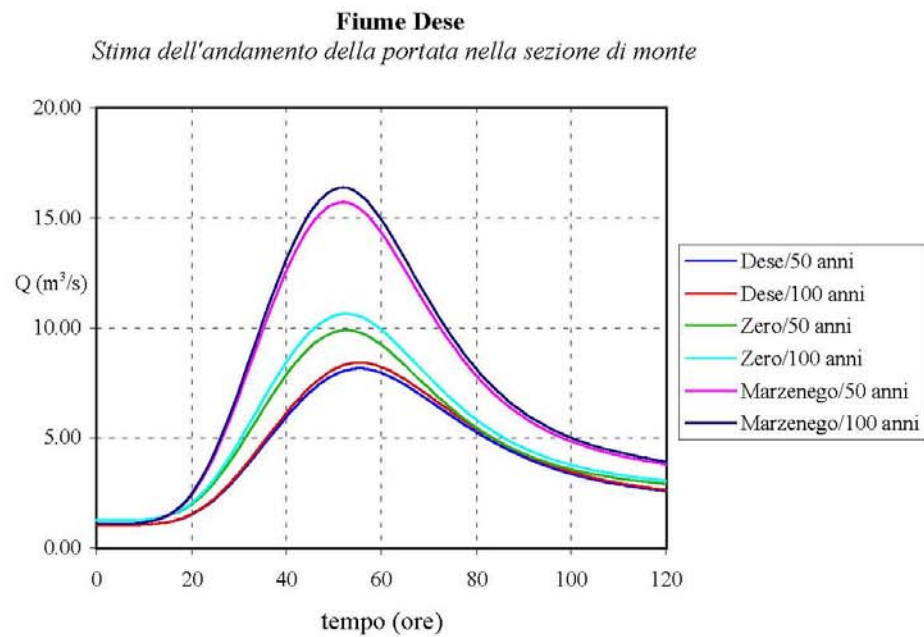


Fig. 8.5 - Andamento delle portate assunte come condizione al contorno nelle simulazioni.

8.4 Caso A - Simulazione di un evento di piena diffuso su tutto il sistema idrografico nell'ipotesi di una marea ordinaria in laguna

8.4.1 Condizioni al contorno

Utilizzando il reticolo uni-bidimensionale e le condizioni al contorno descritti ai punti precedenti, mediante il modello matematico sono state condotte diverse simulazioni.

Una simulazione preliminare ha preso in esame il funzionamento del sistema in condizioni di moto permanente, quando nei corsi d'acqua principali provengono, dai bacini di monte, portate normali confrontabili con quelle prodotte dal solo contributo delle risorgive. Ciò allo scopo di individuare uno stato idrodinamico stazionario che potesse costituire un'adeguata condizione iniziale per le simulazioni di piena.

Nelle successive simulazioni a moto vario gli idrogrammi di piena assegnati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali sono stati ottenuti sovrapponendo gli andamenti valutati con il modello idrologico (descritti nel paragrafo precedente) a quelli di moto permanente.

In sintesi, nelle simulazioni a moto vario effettuate, gli idrogrammi di piena applicati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali risultano caratterizzati dai seguenti valori di portata iniziale e massima, nelle sezioni all'ingresso del comprensorio.

Corso d'acqua	Portata iniziale (permanente)	Portata massima (T_r = 50 anni)
Dese	1.02 m ³ /s	8.14 m ³ /s
Zero	1.25 m ³ /s	9.89 m ³ /s
Marzenego	1.10 m ³ /s	15.70 m ³ /s

Gli idrogrammi di piena da assegnare sui nodi dei corsi d'acqua della rete minore, sono stati ottenuti invece utilizzando i valori massimi indicati in Tabella 8.6, e gli andamenti nel tempo illustrati nella Fig. 8.5.

Per quanto riguarda i nodi sul bordo della laguna, nel calcolo preliminare a moto permanente ad essi è stato assegnato un livello costante e pari a 0.0 m s.l.m.. Nei calcoli relativi alla propagazione delle piene tale livello è stato fatto variare nel tempo per simulare gli effetti dovuti alle oscillazioni della marea.

In questo caso la marea è stata fatta variare secondo un andamento sinusoidale, con un'ampiezza di 1.0 m, periodo di 12 ore e valore medio pari a 0.0 m s.l.m. In questo modo si è simulato l'effetto di una marea di sizigia ordinaria, con valore massimo del livello idrometrico pari a 0.5 m s.l.m..

La durata complessiva della simulazione è di 120 ore. L'intervallo temporale di integrazione adottato è di 5 s, per un totale di 86400 passi di calcolo.

8.4.2 Risultati della simulazione

Con riferimento alla simulazione A che prevede come condizione al contorno in laguna la marea di sizigia ordinaria alcuni risultati del calcolo sono riportati nelle seguenti Figure 8.6, 8.7 e 8.8.

In particolare sono stati estratti gli andamenti dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative individuate lungo il corso dei Fiumi Dese, Zero e Marzenego.

La Fig. 8.6 illustra l'andamento del livello e della portata in 6 sezioni lungo il corso del Dese. Le sezioni rappresentative sono state individuate all'estremità settentrionale dell'asta in corrispondenza della Statale Provinciale 34, a Scorzè subito a valle dell'immissione del Rio S. Ambrogio, all'altezza della Ferrovia Venezia Trieste in corrispondenza del sostegno posto a monte dell'abitato di Dese, subito a valle della confluenza della Fossa Storta, a valle della confluenza dello Zero nel Dese stesso e infine in corrispondenza della foce in laguna.

Con riferimento all'andamento dei livelli (Fig. 8.6) si osserva in primo luogo che i sovralti di livello che, secondo il calcolo, si verificano nella sezione di monte (situata alla quota di poco meno di 25 m s.l.m.) sono assai ridotti, essendo dell'ordine di 0.60 m. Ciò dipende dal fatto che, come si è più volte ricordato, il contributo del bacino di monte del Dese pur nelle ipotesi di un evento come quello considerato è modesto. Tali sovralti si incrementano verso valle per effetto dei significativi contributi degli affluenti (Scolo Trego e Rio S. Ambrogio) e, in corrispondenza dell'abitato di Scorzè, raggiungono il valore di 1.60 m.

Per le sezioni poste più a valle, se all'altezza dell'attraversamento ferroviario Ve - Ts il sovralto dovuto all'onda di piena è ancora evidente (circa 2.0 m) esso si riduce verso la foce, poiché da una parte le maggiori sezioni dell'alveo del Dese e dall'altra la vicinanza alla laguna evidenziano il sempre più marcato effetto della marea che induce delle oscillazioni del livello.

Per quanto riguarda l'andamento delle portate (Fig. 8.6), si osserva che la portata massima iniziale di $8.14 \text{ m}^3/\text{s}$ alla sezione di monte, si incrementa progressivamente di circa $5 \text{ m}^3/\text{s}$ alla sezione di Scorzè per effetto dei contributi dello Scolo Trego e del Rio S. Ambrogio. Tale valore risulta essere inferiore a quello dato dalla somma delle portate immesse nei nodi di monte di tali affluenti (circa $8.70 \text{ m}^3/\text{s}$), e ciò dipende, secondo i risultati del calcolo, dalla parziale esondazione degli affluenti stessi a ridosso delle immissioni nel Dese per rigurgito di quest'ultimo.

Per le sezioni poste più a valle gli andamenti delle portate evidenziano da una parte l'effetto della marea che induce delle marcate oscillazioni, dall'altra quello delle immissioni dei canali della rete minore. Dal calcolo risulta che le portate massime del Dese aumentano fino a circa $130 \text{ m}^3/\text{s}$ all'altezza della confluenza con lo Zero, a causa dei contributi dei corsi d'acqua immissari, tra i quali principalmente il F. Zero stesso e gli impianti idrovori (Cattal e Zuccarello).

Le portate massime calcolate per la sezione alla foce sono inferiori a tale valore, a causa ripartizione della parziale derivazione delle portate del Dese nel C. di S. Maria, anch'esso sfociante in laguna.

I successivi grafici della Fig. 8.7, illustrano l'andamento dei livelli e delle portate calcolate, nelle ipotesi assunte, in alcune sezioni lungo il F. Zero.

Per lo Zero le sezioni rappresentative sono state individuate all'estremo settentrionale dell'asta in corrispondenza della Statale 515 (a Zero Branco), all'altezza dell'attraversamento della ferrovia Venezia Treviso, a Marcon poco a monte della confluenza con il Rio Zermason, all'altezza dell'attraversamento della ferrovia Venezia Trieste e subito a monte della confluenza con il Fiume Dese.

Per quanto riguarda i livelli, dalla Fig. 8.7 si nota che l'andamento calcolato è sostanzialmente analogo a quello valutato per il Dese. Nelle sezioni poste più a monte il sovralto del pelo libero dovuto al passaggio dell'onda di piena è modesto essendo dell'ordine di 1 m o poco più.

Da Marcon verso valle, ed in particolare a valle del ponte ferroviario Ve - Ts, l'andamento dei livelli segue sostanzialmente le oscillazioni della marea.

Per quanto riguarda le portate, il grafico di Fig. 8.7 mette in evidenza come la portata massima dello Zero che alla sezione di monte è pari a poco meno di $10 \text{ m}^3/\text{s}$, si incrementa fino a

quasi 17 m³/s all'altezza della ferrovia Venezia-Treviso, per effetto dell'immissione dei Rii Vernise e Tasca, per rimanere poi inalterata in corrispondenza alla sezione posta a Marcon.

Nella sezione posta in corrispondenza all'attraversamento della ferrovia Venezia Trieste, si registra un valore massimo di circa 30 m³/s, dovuto al contributo di portata proveniente dagli affluenti posti in sinistra, mentre il valore massimo di 44 m³/s si rileva alla sezione posta a monte dell'immissione nel Dese. Tale incremento è dovuto principalmente al contributo fornito dall'impianto idrovoro Carmason.

Anche in questo caso, per le sezioni poste più a valle gli andamenti delle portate evidenziano soprattutto il rilevante effetto della marea.

I grafici della Fig. 8.8 illustrano, a loro volta, i risultati della simulazione per il Fiume Marzenego.

Lungo questo fiume le 6 sezioni considerate si collocano all'estremo settentrionale dell'asta in corrispondenza della Statale Provinciale 44, subito a valle dell'immissione del Rio Draganziolo a valle di Noale, a Mestre, in corrispondenza del sostegno posto subito a monte della diramazione del Marzenego nei due rami Campana e Beccherie, a Mestre, sul Canale Osellino subito a valle della sopracitata diramazione, a valle dell'Idrovora Tessera e in corrispondenza della foce in laguna.

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli (Fig. 8.8) il grafico mette in evidenza, anche in questo caso, che nel tratto di monte prevalgono i sovralti legati al passaggio dell'onda di piena, e legati ai contributi del bacino di monte e degli affluenti, mentre a valle tende a prevalere l'effetto delle oscillazioni della marea. Nel primo caso il calcolo segnala sovralti massimi dell'ordine di 2 m all'altezza di Noale e poco più a valle. Nel secondo tali sovralti sono sostanzialmente quelli della marea. Ciò dipende dal fatto (e ciò è analogo a quello che accade per i due fiumi precedenti), che da Mestre sino alla foce la pendenza del fondo del corso d'acqua è praticamente trascurabile e le sezioni d'alveo aumentano considerevolmente al punto da limitare a valori modesti le velocità massime e con esse le perdite di carico dovute alle dissipazioni di tipo continuo.

Per quanto riguarda l'andamento delle portate (Fig. 8.8), i risultati del calcolo mettono in evidenza la predominanza dei contributi che il Marzenego raccoglie nel suo tratto terminale rispetto alle portate in arrivo da monte. E' inoltre da rilevare come l'oscillazione di marea non influenzi apprezzabilmente gli andamenti di portata per le prime 4 sezioni di misura, mentre condiziona sensibilmente l'andamento della portata per le ultime due (Idrovora Tessera e foce).

Dal grafico è possibile, infine, rilevare gli importanti contributi di portata dati dalle Idrovore Campalto e Tessera, nonché dal Canale Scolmatore, che recapita le proprie acque nel Marzenego - Osellino in corrispondenza della foce.

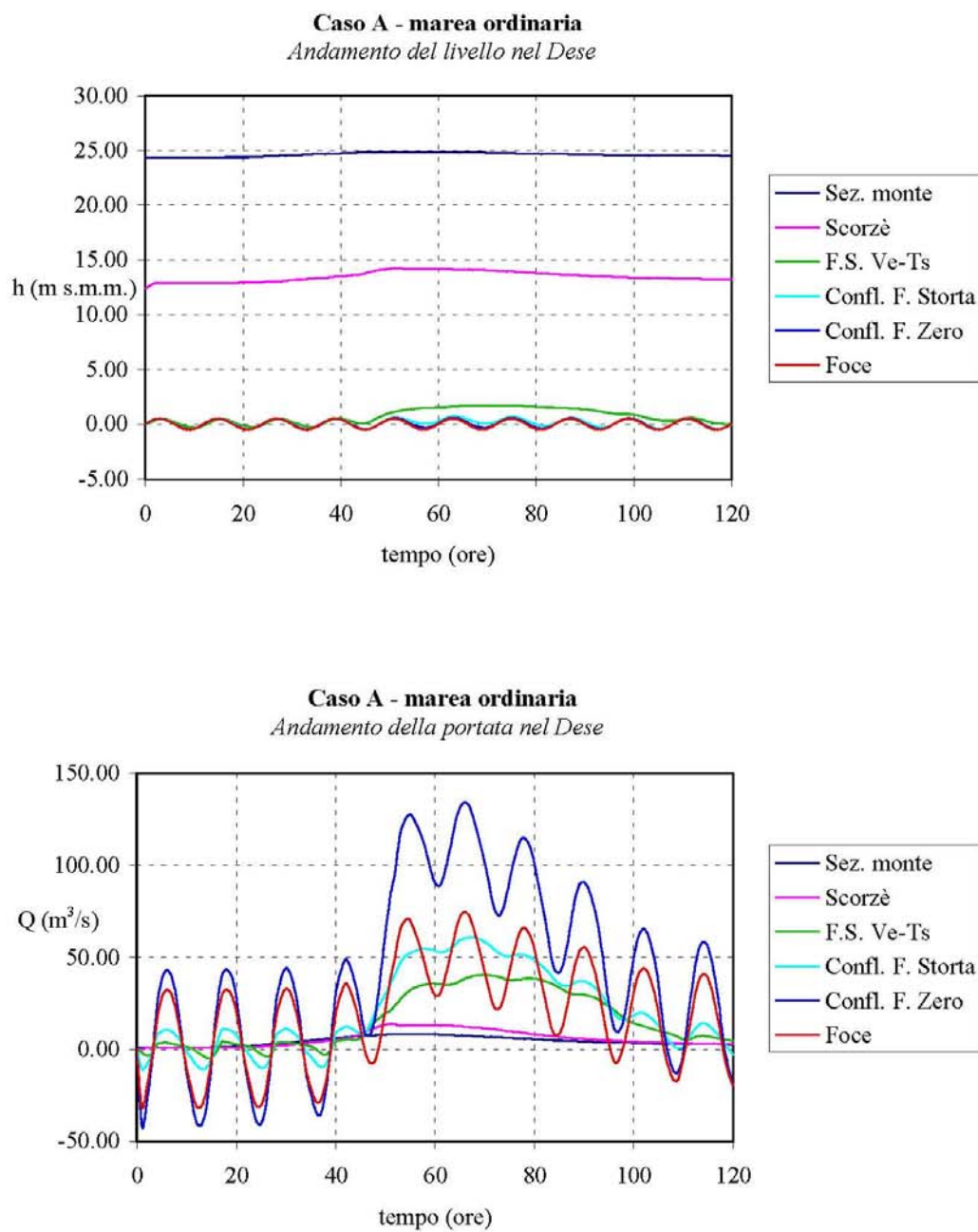


Fig. 8.6 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Dese nella simulazione relativa al caso A. Ipotesi di marea ordinaria alla foce.

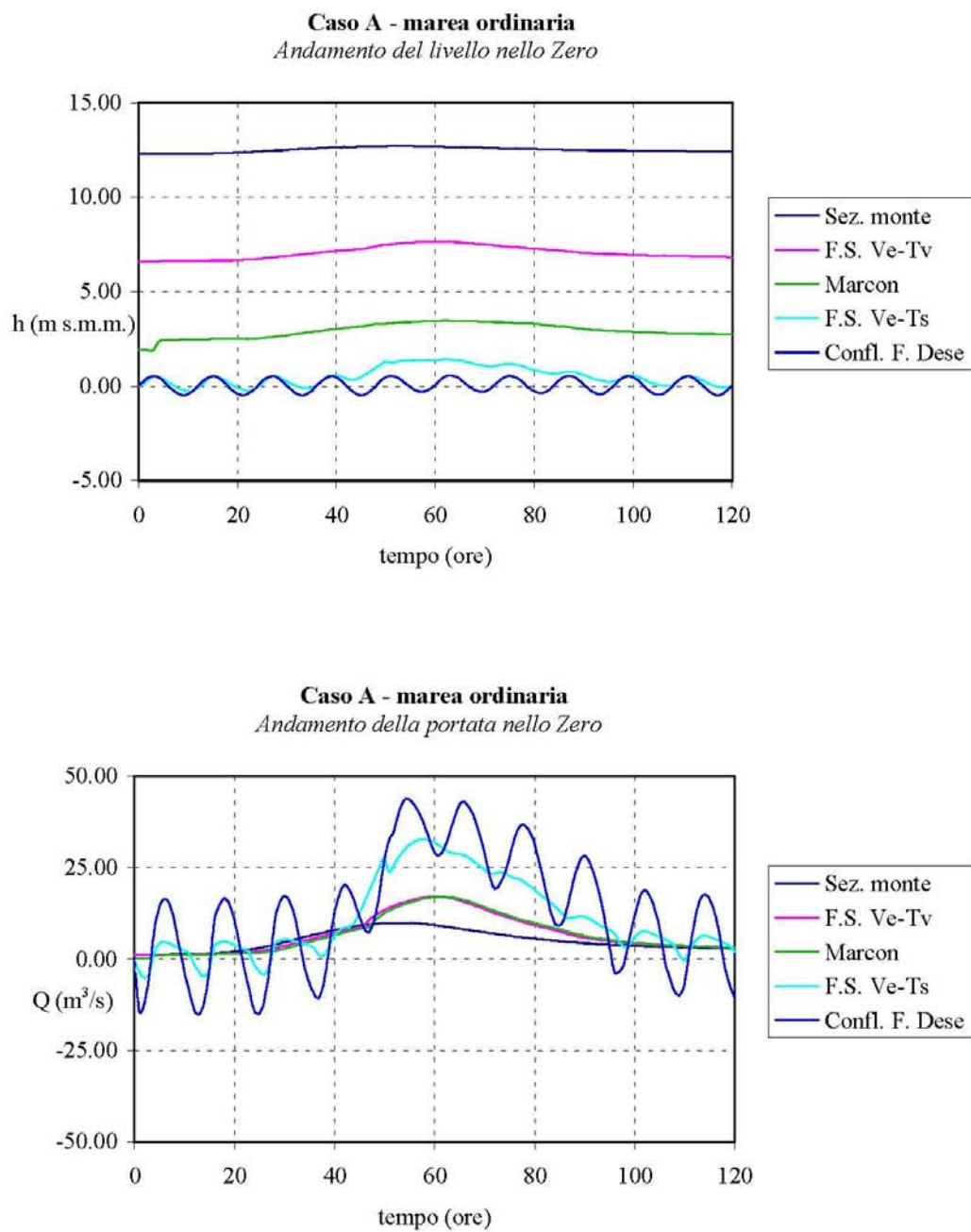


Fig. 8.7 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative dello Zero nella simulazione relativa al caso A. Ipotesi di marea ordinaria alla foce.

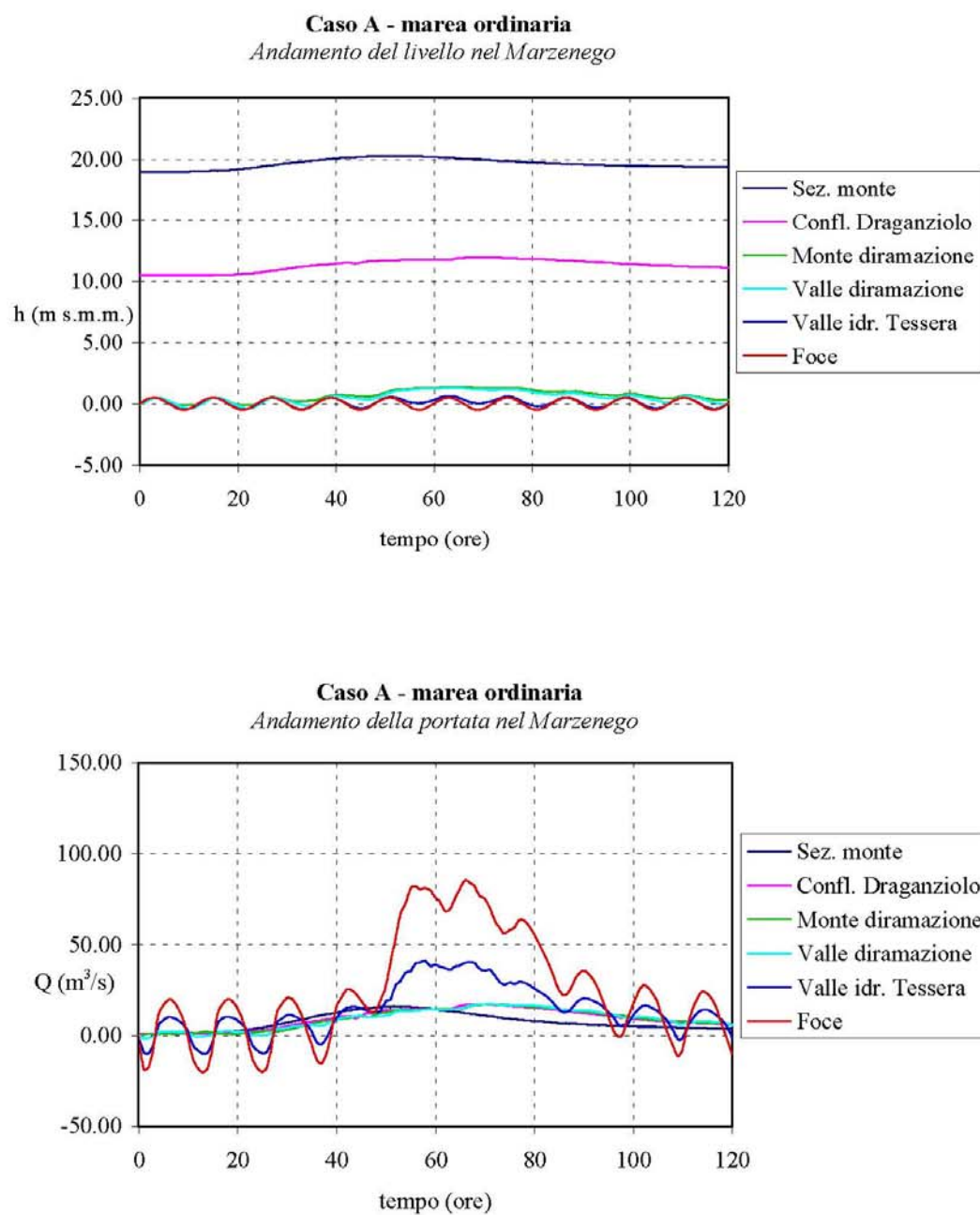


Fig. 8.8 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Marzenego nella simulazione relativa al caso A. Ipotesi di marea ordinaria alla foce.

8.5 Caso B - Simulazione di un evento di piena diffuso su tutto il sistema idrografico nell'ipotesi di un'alta marea eccezionale in laguna

8.5.1 Condizioni al contorno

Con riferimento alle elaborazioni idrologiche riportate nel paragrafo 8.3, gli idrogrammi di piena applicati sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali risultano caratterizzati dai seguenti valori di portata iniziale e massima.

Corso d'acqua	Portata iniziale (permanente)	Portata massima (T_r = 100 anni)
Dese	1.02 m ³ /s	8.41 m ³ /s
Zero	1.25 m ³ /s	10.63 m ³ /s
Marzenego	1.10 m ³ /s	16.36 m ³ /s

Si è fatto cioè riferimento, per quanto riguarda i bacini di monte di questi corsi d'acqua, non schematizzati con il modello idrodinamico, ad un evento di piena il cui tempo di ritorno è valutato in circa 100 anni (si veda la precedente Fig. 8.5).

Gli idrogrammi di piena assegnati sui nodi dei corsi d'acqua della rete minore sono i medesimi del caso precedente, ottenuti utilizzando i valori massimi indicati in Tabella 8.6, e gli andamenti nel tempo illustrati nella Fig. 8.5.

Poiché, come si è detto, il contributo degli affluenti è predominante rispetto alle portate in arrivo dai bacini di monte, le condizioni di portata applicate sui nodi del sistema non sono molto diverse da quelle considerate nel caso precedente.

In questo caso, però, sono state sostanzialmente modificate le condizioni di marea applicate sui nodi alla foce in laguna, considerando un andamento del livello sinusoidale con ampiezza di 1.0 m e periodo di 12 ore, oscillante attorno al valore medio di 1.25 m s.l.m.. In questo modo si è voluto analizzare l'effetto di una situazione paragonabile ad un'alta marea eccezionale, con valore massimo del livello idrometrico pari a 1.75 m s.l.m..

Anche in questo caso la durata complessiva della simulazione è stata assunta pari a 120 ore.

8.5.2 Risultati della simulazione

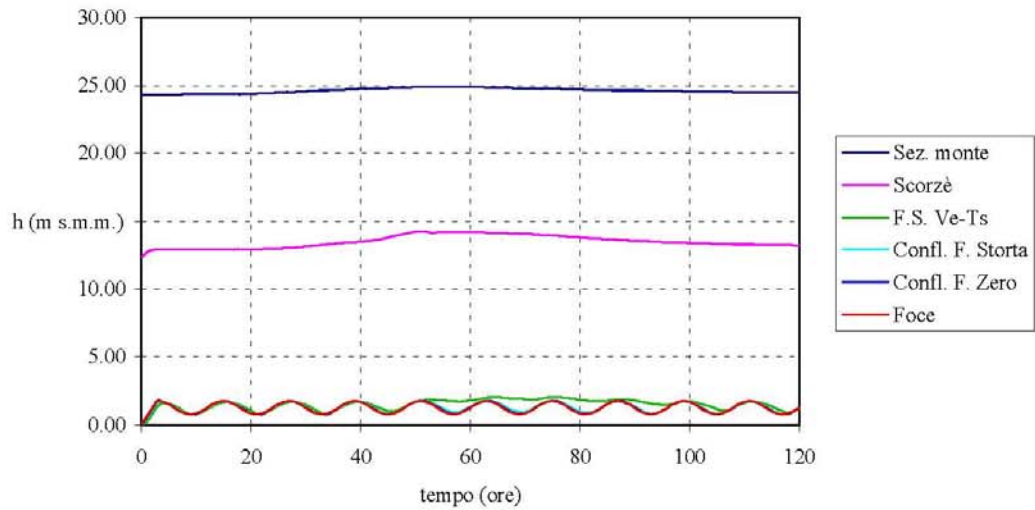
I risultati del calcolo relativamente alle medesime sezioni considerate nei casi precedenti sono riportati nelle seguenti Figure 8.9, 8.10 e 8.11.

La Fig. 8.9 illustra l'andamento del livello e della portata nelle 6 sezioni lungo il corso del Fiume Dese. Tali grafici possono essere messi a confronto con quelli del precedente caso A.1 (Fig. 8.6).

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli, è possibile osservare come la diversa marea non influenzi in modo apprezzabile l'andamento dei livelli nelle due sezioni di monte e di Scorzè. In questi tratti i livelli calcolati sono solo leggermente superiori (di qualche centimetro) rispetto al caso precedente, per le maggiori portate in arrivo da monte.

Dai grafici si osserva altresì che le condizioni di marea assegnate alla foce sono preponderanti nel determinare gli andamenti dei livelli del Dese nelle ultime tre sezioni considerate (immissione Fossa Storta, immissione Zero e foce in laguna), realizzando quote idrometriche massime che superano di oltre 1 m quelle calcolate nel caso precedente. Tali valori sono comunque ampiamente inferiori alle quote arginali del Dese rilevabili in questo tratto.

Caso B - alta marea eccezionale
Andamento del livello nel Dese



Caso B - alta marea eccezionale
Andamento della portata nel Dese

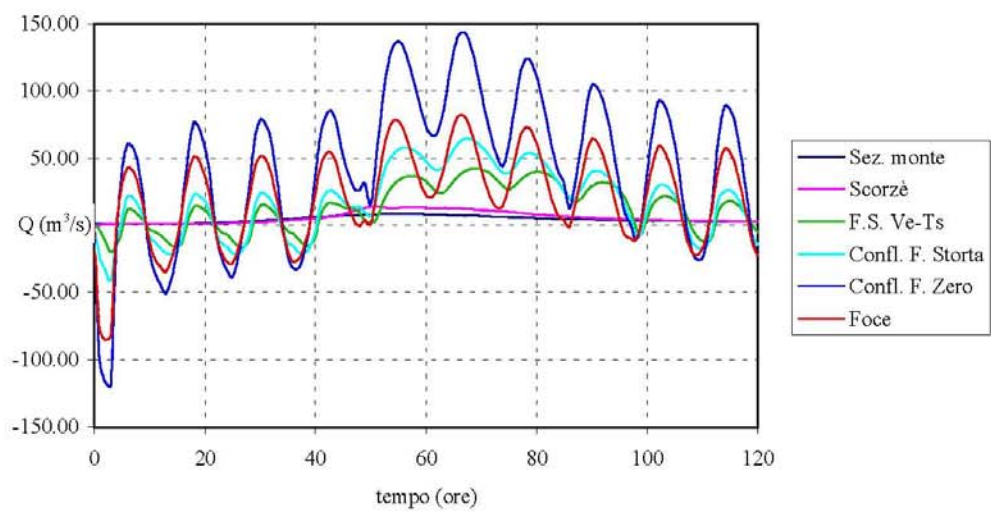


Fig. 8.9 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Dese nella simulazione relativa al caso B. Ipotesi di alta marea eccezionale alla foce.

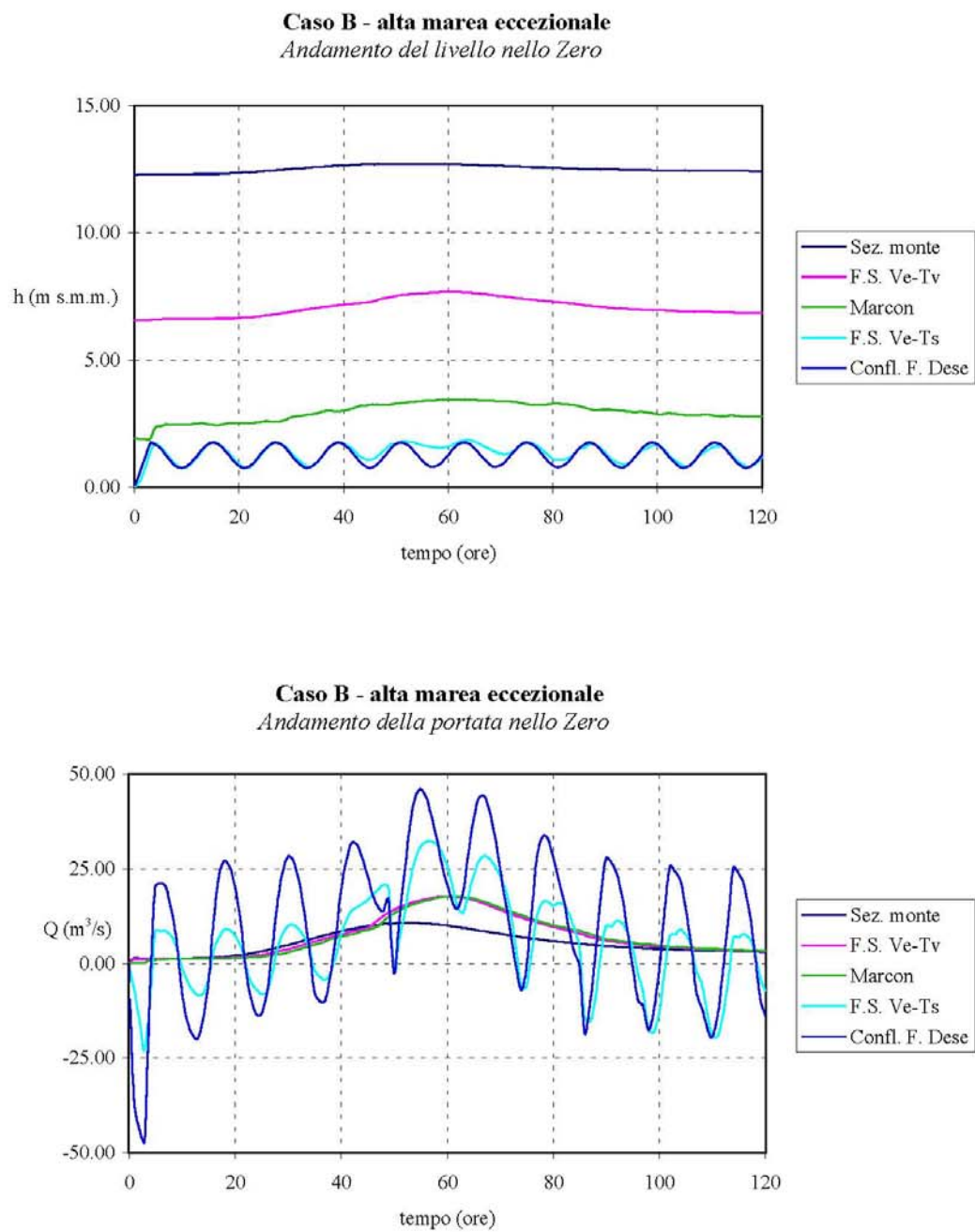


Fig. 8.10 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative dello Zero nella simulazione relativa al caso B. Ipotesi di alta marea eccezionale alla foce.

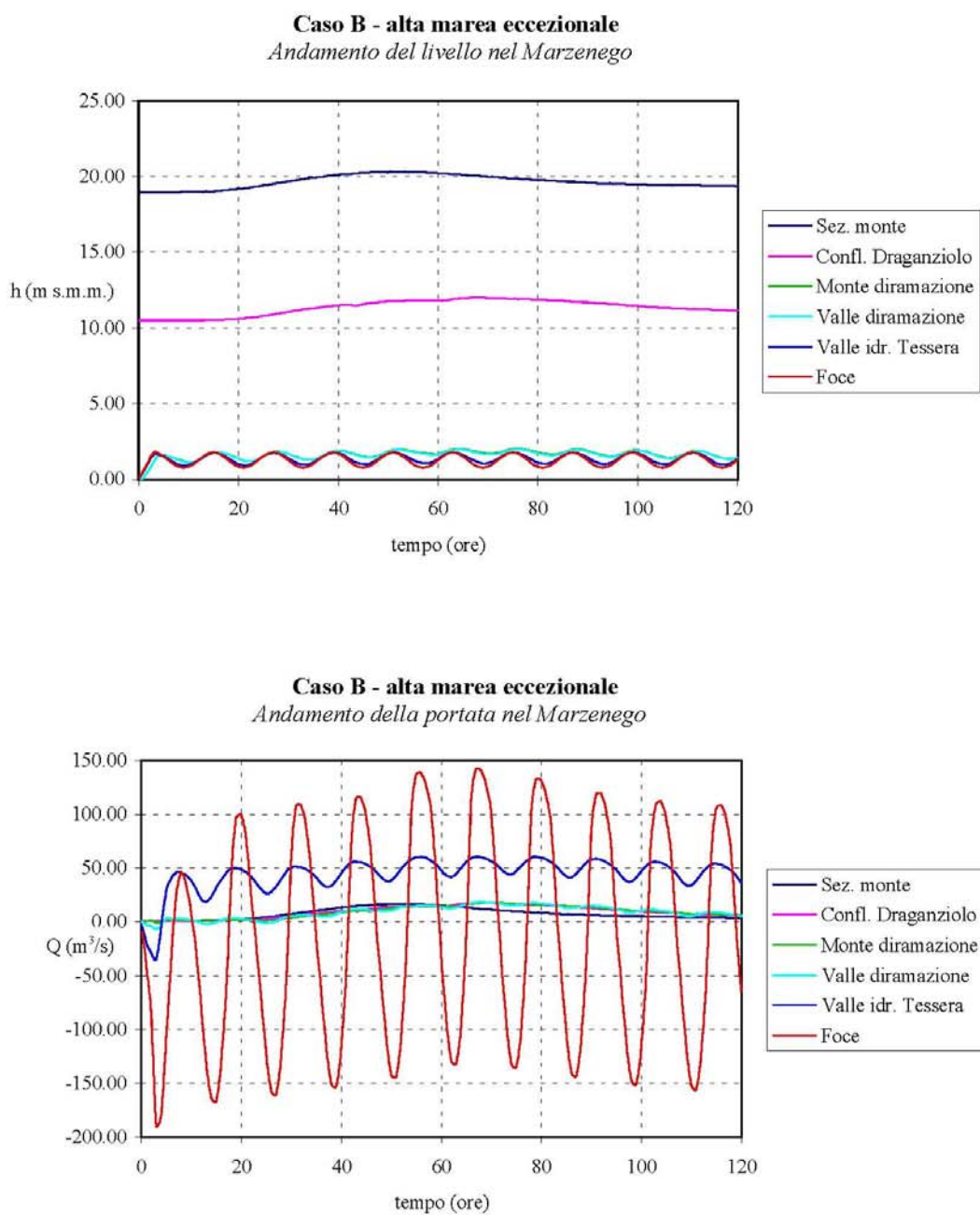


Fig. 8.11 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni significative del Marzenego nella simulazione relativa al caso B. Ipotesi di alta marea eccezionale alla foce.

Analizzando nel dettaglio i risultati del calcolo lungo tutta l'asta Dese si osserva peraltro che in alcuni punti del corso d'acqua, in prossimità delle immissioni dei corsi d'acqua affluenti (principalmente in sinistra idrografica, il modello segnala delle tracimazioni dei canali stessi nella fase del passaggio del colmo della piena. Tale situazione critica, è imputabile ai maggiori livelli che si verificano nell'asta principale per l'alta marea eccezionale, creando un effetto di rigurgito a monte delle immissioni stesse.

L'andamento delle portate lungo il Dese (Fig. 8.9), se confrontato con quello relativo al caso A (Fig. 8.6), mostra che le diverse condizioni di marea imposte alla foce influenzano in modo determinante anche l'andamento delle portate. Differenze quasi trascurabili si riscontrano solo per la sezione di monte e in parte per la sezione di Scorzè. Per le sezioni poste più a valle si osserva principalmente un aumento dell'entità delle oscillazioni della portata legate all'andamento della marea, nonché una loro diminuzione nei valori medi (filtrati cioè dalle oscillazioni di marea) questo effetto essendo imputabile alle esondazioni sopra menzionate.

I risultati relativi al Fiume Zero sono illustrati nelle Fig. 8.10.

Dal confronto tra tali diagrammi e quelli relativi al caso A.1 si evince che nella parte alta del corso dello Zero, a monte di Marcon, i livelli massimi risultano solo di pochi centimetri maggiori rispetto a quelli del caso precedente. A valle della sezione posta in corrispondenza alla ferrovia Venezia Trieste, invece, i livelli sono più sostenuti dalle maggiori quote di marea.

Per quanto riguarda le portate, il loro andamento non subisce sostanziali variazioni a causa dei maggiori livelli di marea. Risulta solamente più accentuata l'oscillazione delle portate in dipendenza delle variazioni del livello di marea soprattutto per le ultime due sezioni (F.S. Ve-Ts e immissione Dese).

Infine i risultati della simulazione con riferimento al Fiume Marzenego sono riportati nella Fig. 8.11.

Per quanto riguarda i livelli, se si confronta la Fig. 8.11 con quella corrispondente relativa al caso A (Fig. 8.8) si nota che, i livelli rimangono inalterati per le due prime sezioni poste più a monte (sezione in corrispondenza alla S.P. 44 e immissione Rio Draganziolo), mentre è evidente come anche le due sezioni individuate a monte e a valle della diramazione Beccherie e Campana risentano dell'escursione di marea, che diventa poi dominante nel determinare i livelli nelle due sezioni di valle (idrovara Tesserà e foce).

Le maggiori altezze di marea amplificano anche le oscillazioni della portata nel F. Marzenego. Al passaggio del colmo della piena le portate massime alla foce, che nel caso A.1 erano pari a $82 \text{ m}^3/\text{s}$, ora raggiungono i $140 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le maggiori escursioni dell'andamento della portata possono essere ricondotte alle minori resistenze idrauliche che si verificano nel Fiume Marzenego a causa dei maggiori tiranti d'acqua nelle sezioni prossime alla foce.

La seguente Fig. 8.12 riporta una sequenza di immagini che illustra con una scala di colori la distribuzione delle altezze d'acqua calcolata con il modello in diversi istanti successivi della simulazione. Tali immagini sono estratte dalle sequenze generate dal modello matematico, che consentono di visualizzare in forma di animazione i risultati del calcolo, e che sono allegate su supporto magnetico al presente studio.

La prima immagine, relativa all'istante iniziale della simulazione, mostra che in tale istante ($T=0$) le zone allagate sono limitate agli alvei dei corsi d'acqua principali, ai canali della rete secondaria e, nella parte meridionale del comprensorio, alle aree coperte dagli specchi d'acqua lagunari relativi ai Canali S. Giuliano e Salso.

La seconda immagine, relativa all'istante $T=60$ ore, mostra la diffusione di alcuni allagamenti nella parte alta del Dese, dello Zero, e del Marzenego. Tale istante è stato scelto non

casualmente, in quanto alla sezione di monte del dominio di calcolo è già transitato il colmo della piena per i tre corsi d'acqua principali sopra indicati (52^{ma} ora per il Marzenego, 53^{ma} ora per lo Zero e 55^{ma} ora per il Dese), ed inoltre è già stato immesso nella rete minore il colmo dell'impulso di portata (55^{ma} ora).

Analizzando nel dettaglio l'immagine si notano allagamenti diffusi lungo il corso del Dese, che interessano principalmente il centro abitato di Scorzè, per esondazione nei pressi dell'immissione dei corsi d'acqua secondari (Trego, S. Ambrogio, S. Martino, Desolino, Piovega Cappella, Peseggiana, Pianton, Fossa Storta). Lungo il corso dello Zero si notano esondazioni del Rio Tasca, mentre lungo il Marzenego vi sono esondazioni presso Noale nelle immissioni nel Marzenego degli Scoli Biesina e Rio Draganziolo. Allagamenti parziali si notano nei pressi dell'Idrovora Zuccarello, mentre allagamenti diffusi si registrano ad Altino ed in parte a Quarto d'Altino per insufficienza della rete idrica e dell'impianto idrovoro del Bacino di Carmason (in particolare Acque Basse e Acque Alte), nel Bacino di Cattal (rete e idrovora), Bacino di Cà Corner. Allagamenti diffusi si notano inoltre a Tessera e nei pressi dell'immissione del Canale Scolmatore nel Marzenego (che rigurgita a causa dell'alta marea eccezionale) e che crea allagamenti a Favaro Veneto, a Mestre in corrispondenza dei Canali Allacciati e infine a Maerne, per esondazione del Rio Rioviego.

La simulazione segnala inoltre che per alcuni corsi d'acqua delle rete minore si verificano esondazioni nel tratto iniziale. A tale riguardo va precisato per i tratti iniziali dei menzionati corsi d'acqua, che sono caratterizzati da una certa pendenza del fondo e sono sostanzialmente privi di arginature, i dati topografici sia sulla geometria delle sezioni, sia sulle quote dei terreni immediatamente adiacenti alle sponde dovrebbero essere localmente verificati con riferimento a dati topografici più recenti ed affidabili rispetto alla base cartografica CTR utilizzata.

Le modeste dimensioni delle sezioni che si deducono dai pochi dati disponibili, e la particolare conformazione morfologica dei territori attraversati da questi corsi d'acqua, altimetricamente più depressi rispetto alle campagne adiacenti, lasciano comunque presumere che non possano essere esclusi eventi di tracimazione come quelli segnalati dal modello. Dai calcoli risulta comunque che gli allagamenti restano confinati nelle immediate adiacenze dei corsi d'acqua stessi, e vengono anzi ricondotti negli alvei nelle fasi successive della piena per effetto delle pendenze dei terreni.

La terza immagine, relativa all'istante T=90 ore, mostra come gli allagamenti a Scorzè prodotti nella parte alta del corso del Dese dagli affluenti in sinistra del Dese stesso siano praticamente scomparsi, mentre permangono esondazioni nei dintorni dello Scolo Peseggiana, Fossa Storta e a Noale per esondazione del Rio Draganziolo, mentre sono scomparse lungo il corso dello Zero e a Mestre. Allagamenti diffusi si verificano nei bacini Carmason, Zuccarello, Cattal soprattutto nei pressi delle idrovore a testimonianza della difficoltà del sistema di pompaggio nel realizzare il drenaggio di tali territori. Allagamenti diffusi si registrano ancora nei pressi di Tessera, per effetto delle eccezionali condizioni di marea considerate.

La quarta e ultima immagine, relativa all'istante T=120 ore, dimostra come ormai gli allagamenti si siano spostati nella parte sud-est del comprensorio seguendo la naturale pendenza dei terreni, con allagamenti diffusi e generalizzati nei comprensori di bonifica a scolo meccanico. Questi, penalizzati inizialmente dalle esondazioni della locale rete dei collettori di bonifica, vedono amplificarsi lo stazionamento delle acque nel territorio a causa dell'altimetria depressa e delle difficoltà degli impianti idrovori stessi ad operare lo smaltimento delle acque provenienti dalle esondazioni dei bacini posti più a monte.

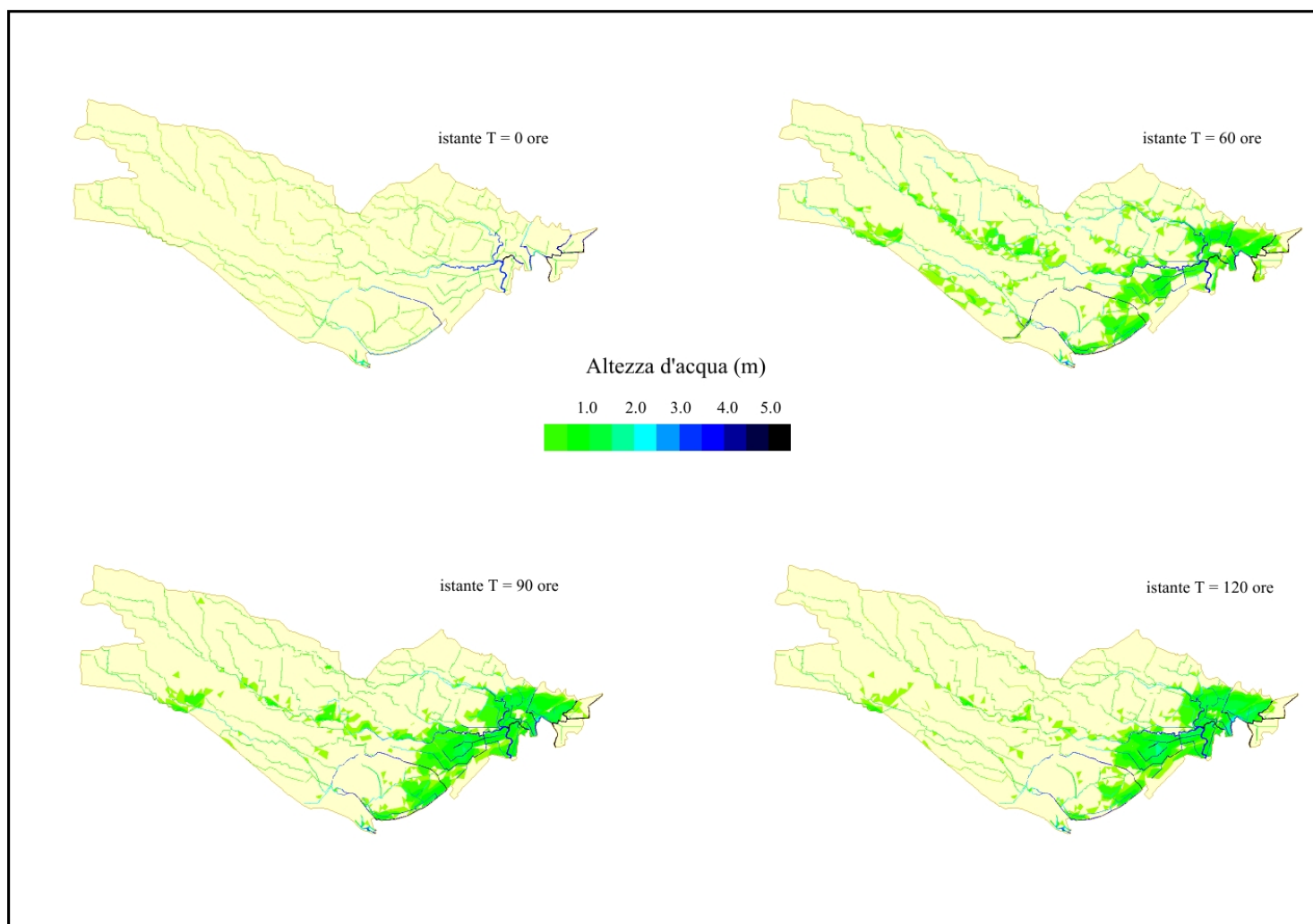


Fig. 8.12- Bacino del F. Dese. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena diffuso su tutto il sistema idrografico considerando condizioni di alta marea eccezionale alla foce (caso B).

8.6 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

L'analisi del comportamento idraulico del bacino considerato risulta particolarmente complessa, principalmente per la complessità stessa del sistema idrografico che lo solca. Il territorio è attraversato, infatti, dai tre corsi d'acqua principali Dese, Zero e Marzenego, ciascuno dei quali è alimentato da un proprio bacino idrografico di monte, da una serie di corsi d'acqua secondari che vi si immettono a deflusso naturale, e da una serie di impianti idrovori le cui portate contribuiscono in modo non trascurabile alla formazione delle piene.

Il funzionamento idraulico del sistema nella sua parte terminale risulta, inoltre, fortemente condizionato, per quel che riguarda le quote idrometriche massime che si raggiungono al passaggio delle piene, dalle concomitanti condizioni di livello che si stabiliscono alla foce del Dese e del Marzenego e più in generale in tutti i nodi situati in laguna, essendo queste legate all'andamento delle maree e delle mareggiate nell'Adriatico settentrionale.

L'impiego del modello matematico uni-bidimensionale ha consentito di considerare nell'analisi il sistema nel suo complesso, esaminando situazioni ipotetiche caratterizzate dal simultaneo verificarsi di eventi idrologici significativi sia nei corsi d'acqua principali, sia nella rete minore, sia, infine, nella laguna.

La schematizzazione del territorio e della rete idraulica (geometria dei corsi d'acqua e caratteristiche dei principali manufatti idraulici), è stata predisposta utilizzando come riferimento principale i dati forniti dal Consorzio di Bonifica Dese Sile. Tali dati consentono di descrivere con sufficiente dettaglio lo stato attuale della rete idrografica sia per i corsi d'acqua principali (Dese, Zero e Marzenego) sia per i principali canali della rete della bonifica.

Non sono stati tuttavia rinvenuti studi idrologici o altre fonti che consentissero di definire con sufficiente dettaglio le condizioni al contorno per le simulazioni. In pratica non è stato possibile reperire, nemmeno per i fiumi principali, valutazioni attendibili sulle portate massime prevedibili, né dati su misure di livello e di portata, o dati significativi su eventi di piena del passato, che avrebbero consentito da una parte di stimare gli idrogrammi di piena relativi ad eventi con prefissati tempi di ritorno, dall'altra una validazione, anche di prima approssimazione, dei risultati forniti dal modello.

Le simulazioni sono state effettuate, pertanto, generando degli eventi di piena ipotetici utilizzando un modello idrologico semplificato in grado di operare la trasformazione afflussi-deflussi a partire dalle precipitazioni. Tale modo di procedere, tuttavia, (non richiesto poiché le attività previste dallo studio riguardano l'impiego dei dati idrologici esistenti, ma necessario per poter concretamente effettuare l'applicazione modellistica), è risultato necessariamente approssimativo e certamente non del tutto adeguato agli scopi dell'indagine. I risultati delle simulazioni assumono pertanto un valore prettamente indicativo, e non possono essere considerati come una rappresentazione esauriente del reale funzionamento della rete considerata.

Pur con queste limitazioni, l'applicazione del modello matematico ha fornito utili indicazioni su alcune possibili insufficienze che potrebbero verificarsi in caso di piene gravose.

Le simulazioni hanno esaminato un possibile evento di piena della durata di 120 ore, le cui portate al colmo possono ritenersi caratterizzate da un tempo di ritorno all'incirca decennale. Per tale evento sono stati valutati con il suddetto modello idrologico gli idrogrammi di portata da assegnare come condizione al contorno sui nodi di monte dei corsi d'acqua principali, valutando tali contributi per tempi di ritorno di 50 e 100 anni. E' stato simulato anche il contributo della rete secondaria, che scarica nei collettori principali le portate derivanti delle piogge dirette al suolo. Tale contributo è stato valutato con riferimento ad un tempo di ritorno inferiore, pari a 7 anni, in modo da poter utilizzare i dati contenuti nel Piano Generale di Bonifica. E' stato infine

preso in considerazione l'effetto della marea sui nodi in laguna (alle foci del Dese e del Marzenego), simulando la propagazione delle piene in presenza di una marea sinusoidale di ampiezza pari a 1 m oscillante attorno al livello medio del mare, che si può ritenere rappresentativa di un evento di sizigia.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza che l'evento considerato può dare luogo ad esondazioni in corrispondenza delle immissioni degli affluenti nella parte alta del Fiume Dese, e del Marzenego. Gli abitati che risultano a rischio di esondazione per tali eventi sono principalmente Scorzè e Noale. Nella parte meridionale del comprensorio i risultati ottenuti hanno messo in evidenza il ruolo predominante che la marea riveste sia sul regime dei livelli idrometrici, sia su quello delle portate fluenti. In particolare, anche in presenza di portate elevate come quelle considerate nelle simulazioni, i rischi di allagamento per tracimazione degli argini sono principalmente legati alle condizioni di marea che si realizzano alla foce, che rigurgitano i collettori principali con conseguenti difficoltà nello smaltimento delle portate da parte delle idrovore.

A questo riguardo sono state condotte delle altre simulazioni ipotizzando che, in concomitanza con il passaggio della piena, alla foce si verificano condizioni di alta marea eccezionale, con un livello massimo di +1.75 m s.l.m.. In tali ipotesi, il modello conferma che per le sezioni di monte dei corsi d'acqua principali i valori dei livelli idrometrici e di portata non risentono apprezzabilmente delle maggiori altezze della marea, la quale invece assume un ruolo preponderante nell'influenzare i livelli nelle sezioni poste più a valle.

I calcoli hanno, infatti, evidenziato che l'evento di piena nel sistema idrografico può risultare critico se esso si accompagna a livelli di marea particolarmente elevati alla foce. In particolare facendo riferimento all'alta marea eccezionale a +1.75 m s.l.m. si possono fare alcune osservazioni, con riferimento alle mappe di allagamento prodotte dal modello matematico.

Osservando nel complesso l'evoluzione della piena simulata nell'intero comprensorio si possono notare numerosi allagamenti diffusi nelle fasi iniziali dell'evento che interessano sia alcuni centri abitati importanti nella parte occidentale del territorio (Scorzè, Noale), per esondazione delle portate dei canali che confluiscono nel Dese e nel Marzenego, sia vaste aree nella parte meridionale del comprensorio per sostanziale insufficienza dei canali delle reti di bonifica (bacini Carmason, Altino, Cattal, Cà Corner, Zuccarello in parte), sia infine alcune aree limitrofe alla laguna dove il rigurgito dell'alta marea eccezionale crea elevati livelli idrometrici (Tessera). Nelle fasi successive della piena gli allagamenti tendono rientrare nelle parti più a monte del comprensorio, mentre risultano diffusi e generalizzati nelle aree della bonifica, dove il terreno particolarmente depresso e l'insufficienza del sistema di drenaggio favoriscono il permanere delle acque.

Devono essere quindi segnalati in particolare i rischi di esondazione presso Scorzè degli affluenti in sponda sinistra del Dese (Rio S. Ambrogio e Rio S. Martino), le insufficienze degli impianti Idrovori di Carmason e Zuccarello, e le esondazioni del Draganziolo presso Noale.

In sintesi, i corsi d'acqua principali che attraversano il dominio di calcolo, concorrono agli allagamenti limitatamente alle zone più a monte del comprensorio, mentre nelle zone più a valle l'ampiezza degli alvei e le altezze arginali di tali corsi d'acqua sono sostanzialmente adeguati, e il rischio di esondazione si trasferisce in modo preponderante alla rete minore che risulta essere insufficiente sia nelle sezioni dei canali, sia nella capacità di taluni impianti idrovori.

Si ritiene peraltro di dover rimarcare la mancanza di dati relativamente al regime idrologico ed idraulico dei corsi d'acqua principali del bacino, che sarebbero necessari per rendere sempre più efficace ed affidabile l'impiego di strumenti di calcolo come quello qui utilizzato.

In particolare, nel caso in esame, sarebbe necessario disporre di sistematiche osservazioni idrometriche in alcune sezioni dei principali corsi d'acqua del sistema e di misure sperimentali sulle portate fluenti. La disponibilità di tali dati consentirebbe, da una parte di caratterizzare il regime di questi corsi d'acqua, per il quale ci si può solo riferire a studi ormai non più attuali e a valutazioni non supportate da adeguati riscontri sperimentali, dall'altra di procedere ad una vera e propria taratura del modello di calcolo, per verificare l'entità degli scarti fra i risultati delle simulazioni e le osservazioni reali, e conseguentemente stimare il grado di incertezza nelle valutazioni quantitative ottenibili, relativamente a ipotetici scenari di crisi.

9. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL TERRITORIO COMPRESO TRA F. MARZENEGO E F. BRENTA

9.1. Caratteri idraulici del territorio

La modellazione comprende il territorio facente parte della Provincia di Venezia delimitato a nord dalle S.P. 31 e 38, dalla sponda destra del Fiume Marzenego, dalla ferrovia Venezia Trento e dalla ferrovia Mestre Venezia. Andando verso est a delimitare il comprensorio si trova la conterminazione lagunare, gli argini destri della Fossetta dei Barambani, del Canale Bondante di Sotto e del Canale Bondantino nonché la S.S. 309 Romea fin dove questa incontra la S.P. 53 all'altezza di Codevigo. A sud il territorio è delimitato dall'argine sinistro del F. Bacchiglione fino al ponte con la ferrovia Adria - Mestre. Le S.P. 95, 93, 12 e 40, le autostrade A13 Bologna Padova e A4 Torino Trieste, la ferrovia Milano Venezia e la S.P. 88 chiudono ad ovest il comprensorio che così individuato assume un'estensione di circa 440 km² (Fig. 9.1).

I limiti succitati sono stati individuati in modo tale da considerare l'intera parte centrale del territorio provinciale, estendendosi come di consueto fino ai rilevati stradali o ferroviari che possono, in caso di allagamenti, costituire degli ostacoli di una certa importanza alla propagazione dell'onda di sommersione sul territorio.

Il comprensorio così individuato racchiude una complessa rete di canali irrigui e di bonifica che defluiscono principalmente a gravità verso la laguna di Venezia. Non mancano tuttavia, come è detto nel seguito, diversi casi di bacini a scolo meccanico.

Nella sua parte meridionale il territorio è solcato dal corso del F. Brenta, che scorre canalizzato entro importanti arginature. Una frazione rilevante della parte meridionale del comprensorio considerato fa parte della Provincia di Padova. Essa è stata comunque inclusa nella schematizzazione al fine di poter condurre delle simulazioni verosimili dei possibili effetti di allagamenti dovuti ad esondazioni proprio del Brenta.

Il comprensorio fa parte del territorio dei Consorzi di Bonifica Sinistra Medio Brenta e Bacchiglione Brenta; esso è inoltre attraversato da molteplici corsi d'acqua non in gestione ai Consorzi che risultano essere recapito delle acque di scolo o fonte di approvvigionamenti irrigui. Nel seguito si procede ad una loro breve descrizione.

9.1.1. Fiumicello Tergola-Serraglio

Il Tergola nasce in zona di risorgiva a sud di Cittadella, e sottopassa il Muson dei Sassi poco dopo il sostegno di Torre dei Burri. Da qui esso procede pensile sui terreni circostanti. In comune di Strà, al nodo idraulico denominato "le panconelle di Strà" tramite un sostegno ubicato all'inizio del Rio Serraglio vi è la diversione di parte delle portate del Tergola nello Scolo Veraro (che si getta immediatamente in Naviglio Brenta) mentre le portate rimanenti confluiscono nel Rio Serraglio che prosegue in comune di Fiesse d'Artico, Dolo e Mira fino a gettarsi in Naviglio Brenta a Mira Porte.

Per quanto riguarda il corso del Tergola nella sua parte alta, esclusa dalla presente schematizzazione, si possono evidenziare i seguenti elementi. Appena a monte dell'abitato di Villa del Conte esiste un manufatto ripartitore che è in grado di far defluire fino a 2/5 della portata del Tergola nel Canale Piovego, il quale recapita poi a sua volta le acque nel Brenta. Altra possibilità di diversione delle portate del Tergola è data dal manufatto di regolazione di Torre di Burri situato appena a valle della confluenza del Vandura, che consente lo sfioro di eventuali portate in eccesso lungo il Canale Viana nel Musone dei Sassi e quindi nel Brenta. Ma mentre queste ultime due diversioni consentono effettivamente una estromissione di parte delle

portate del Rio Serraglio (che accoglie anche il contributo del Rio dell'Arzere) dalla Laguna, la diversione delle acque del Tergola verso il Veraro viene più spesso eseguita per garantire un adeguato contributo al rifornimento idrico del Naviglio Brenta, per mantenere in esso il livello atto alla navigazione.

9.1.2. Fiumicello Muson Vecchio

Il Muson Vecchio raccoglie le acque delle zone di sorgiva poste nel territorio a nord di Castelfranco Veneto, arginato, sottopassa il Muson dei Sassi poco dopo l'abitato di Camposanpiero e attraversa il comprensorio dirigendosi verso Mirano, dove confluisce nel C. Taglio di Mirano.

9.1.3. Taglio di Mirano

Il Taglio di Mirano, costruito agli inizi del XVIII secolo, convoglia presso Mirano le acque del Muson Vecchio in Naviglio Brenta senza ulteriori apporti di portata. Sono presenti in questo tratto sette botti a sifone storiche che lo sottopassano e che sono, procedendo da nord a sud quelle relative al Menegon, Lusore, Cesenego, Comuna, Pionca, Tergolino e Serraglio

9.1.4. Naviglio Brenta

Il Naviglio Brenta trae origine dalla sistemazione di un vecchio ramo del Fiume Brenta che sfociava in Laguna. Esso ha inizio appena fuori l'abitato di Strà ed è alimentato attraverso un manufatto di regolazione abbinato alla conca di navigazione che lo mette in comunicazione con il Fiume Brenta e il Canale Piovego, che a sua volta si immette nel Brenta proprio in corrispondenza della conca.

L'entità della portata derivata dal Naviglio può essere stimata tra i 5 e i 15 m³/s in relazione ai reciproci livelli nei corsi d'acqua ed in funzione del livello da assicurare nel Naviglio per consentirvi la navigazione. Altro fattore che influenza l'entità sia delle portate immesse nel Naviglio sia di quelle da esso consegnate in Laguna è l'incidenza delle numerose derivazioni presenti lungo i 25 km del suo percorso. Oltre a tutto questo una parte (in generale la maggior parte) della portata del Naviglio è deviata presso Mira nel Canale Novissimo e pertanto alla foce può giungere una frazione anche molto piccola della quantità di acqua derivata a monte dal Brenta.

Lungo il suo percorso il Naviglio Brenta presenta quattro conche di navigazione ubicate presso le località di Strà, Dolo, Mira e Moranzani.

Oltre alle portate derivate dal Brenta, nel Naviglio confluiscono i contributi dello Scolo Veraro (che oltre ad eventuali picchi di portata del Tergola consegna scarichi del comune di Strà e della sua zona industriale), del Canale di Mirano, del sistema Tergola-Serraglio e dello Scolo Pionca.

9.1.5. Canale Novissimo

Il Canale Taglio Novissimo si diparte dal Naviglio Brenta in centro a Mira poco dopo la confluenza con il Naviglio stesso del C. Taglio di Mirano. A valle del suo incile i livelli sono sostenuti con una conca di navigazione situata in corrispondenza dell'inizio dell'Idrovia Padova Venezia, tronco terminale. A valle di questo manufatto il corso del Novissimo prosegue rettilineo lungo la S.S. 309 Romea per un lungo tratto, da cui diverge per scaricare le sue portate in Laguna nella zona delle Valli di Brenta. Anche in questo caso sono presenti delle vecchie botti a sifone che collegano alla Laguna i canali che drenano la pianura a scolo naturale o meccanico, sottopassando sia il Canale Novissimo sia la S.S. Romea.

9.1.6. Fiume Brenta

Il tratto di Fiume Brenta compreso nel territorio oggetto di indagine misura circa 23 km e si estende dal ponte sulla ferrovia Milano Venezia posto a nord ovest di Strà, sino al ponte della S.P. XX a valle di Codevigo. Fa parte del tratto considerato l'importante nodo idraulico di Strà, di cui si è già detto in precedenza, dove confluisce il C. Piovego e da cui si diparte il Naviglio, e la botte a sifone di Corte che collega i bacini del Cornio Nuovo e del Rio Fiumicello con lo scolo Fiumazzo che sfocia in Laguna a mezzo della botte di Lova.

Come si è detto in precedenza, il tratto di F. Brenta considerato esce in gran parte dal territorio della Provincia di Venezia. Tuttavia esso è stato considerato per potere effettuare delle simulazioni finalizzate ad evidenziare le possibili conseguenze delle esondazioni di questo fiume anche nel territorio provinciale, in particolare nel tratto che va da Boion a Strà.

9.1.7. Idrovia Padova Venezia

L'Idrovia Padova Venezia, di recente costruzione, ha intercettato alcuni canali di bonifica creando qualche scompenso sull'organizzazione idraulica preesistente. In particolare alcuni canali a deflusso naturale sono stati collegati all'Idrovia e allo sbocco sono stati posizionati manufatti di scarico muniti di porte vinciane. E' presente, inoltre, una botte a sifone che collega i terreni a scolo meccanico posti a nord dell'Idrovia con l'Idrovora Dogaletto posta a sud della stessa.

9.1.8. La rete di bonifica

Il comprensorio considerato è solcato, oltre che dai succitati canali principali, da una fitta rete idraulica naturale ed artificiale di canali appartenenti ai vari sottobacini gestiti dai due già menzionati Consorzi di Bonifica Sinistra Medio Brenta e Bacchiglione Brenta.

Il Bacino del Musone Vecchio, è composto da vari sottobacini la maggior parte dei quali ricade al di fuori del territorio indagato. Basti qui ricordare il sottobacino Parauro che scarica le acque in Muson Vecchio tramite il Musonello, e l'ultimo sottobacino che tramite il Canale Refosso di Vallona scarica acque in Muson Vecchio presso Mirano.

Il Bacino del Tergola, è composto da vari sottobacini sia indipendenti che intercomunicanti. Nel comprensorio oggetto di indagine si menziona in particolare il sottobacino dell'Arzere che recapita le proprie acque nel Tergola alle panconelle di Strà e da qui, come già detto in precedenza, le acque riunite vengono scaricate in Serraglio e/o Veraro per essere comunque recapitate in Naviglio Brenta rispettivamente a Mira o in centro a Strà.

Il Bacino del Lusore è il più grande bacino del Consorzio Sinistra Medio Brenta e presenta un gran numero di sottobacini, alcuni indipendenti altri invece connessi a seconda delle manovre di regolazione. La maggior parte del bacino scola naturalmente in Laguna tramite il Lusore e il Menegon. Da segnalare i Canali Comuna e Cesenego che recapitano le loro acque nel Lusore a valle di Borbiago, mentre i sottobacini Cà Emiliani e Malcontenta sono a sollevamento meccanico e recapitano le proprie acque nel tratto terminale del Lusore poco a monte della zona industriale di Marghera.

Il Bacino del Pionca è pure composto di alcuni sottobacini che recapitano le acque tramite il sistema Pionca-Serraglio nel Naviglio Brenta. Il sottobacino del Tergolino raccoglie tramite il Tergolino stesso le acque provenienti dalla zona di Vigonza e dalle zone poste a sud del sistema Tergola- Serraglio relative ai sottobacini Salgarelli e Castellaro.

Il Bacino Idrovia raccoglie le acque che vengono recapitate in Idrovia mediante manufatti di scarico serviti da porte vinciane che in caso di alta mare a impediscono il riflusso della corrente.

Il Bacino dell'Idrovora Dogaletto individua un'area completamente soggetta a scolo meccanico essendo tutta sotto il livello del mare. Una botte a sifone permette il transito delle portate provenienti dal sottobacino Bastie sotto l'Idrovia.

Il Bacino Brenta Secca,drena le acque alte sui collettori principali Brenta Secca e Tronco Comune e le convoglia entro la botte a sifone posta a valle della loro confluenza e sottopassante il Taglio Novissimo e la S.S. Romea nei pressi di Lugo di Campagna Lupia. Il bacino è delimitato a nord dal Naviglio Brenta dal quale può derivare acqua per motivi irrigui.

Il Bacino dell'Idrovora di Lova comprende un'area interamente posta sotto il livello del mare e convoglia le acque in Laguna tramite l'Idrovora di Lova e la relativa botte a sifone sottopassante il Taglio Novissimo e la S.S. Romea.

Il Bacino a monte dell'Idrovora di Lova (Consorzio Bacchiglione Brenta) è separato in due sottobacini dal Fiume Brenta. Quello in destra Brenta recapita le proprie acque nel Canale Fiumazzo attraverso la botte a sifone di Corte. Il sottobacino in sinistra Brenta smaltisce le proprie acque tramite il Cornio di Campagna Lupia che confluisce a sua volta nel Canale Fiumazzo. Tutto il bacino scarica a gravità le proprie acque.

Il Bacino a monte dell'Idrovora Vaso di Cavaizze (Consorzio Bacchiglione Brenta) scarica nella Laguna tramite la botte a sifone Vaso delle Cavaizze previo sollevamento meccanico tramite l'omonimo impianto idrovoro.

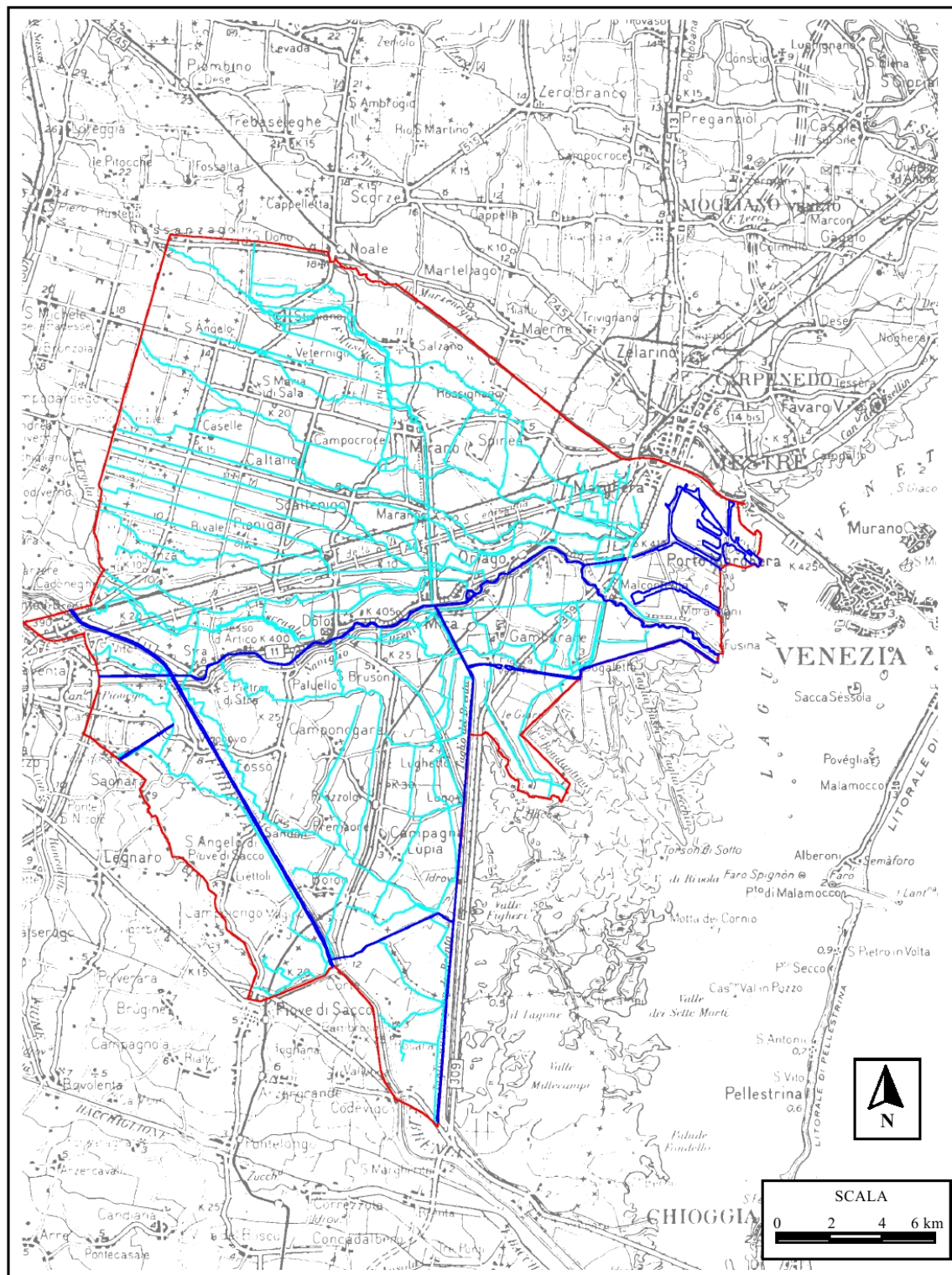


Fig. 9.1 - Corografia del territorio compreso tra F. Marzenego e F. Brenta considerato nell'indagine.

9.2. Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Come nei casi precedenti la morfologia del territorio è stata modellata, secondo la metodologia illustrata nel Capitolo 2, mediante elementi bidimensionali ed unidimensionali.

Elementi bidimensionali di dimensioni maggiori sono stati utilizzati per descrivere le aree di campagna, mentre elementi di dimensioni minori (fino a circa 10 m di lato) sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da variazioni altimetriche più sensibili, quali i rilevati (strade, ferrovie o altro) o gli alvei dei corsi d'acqua principali (il Fiume Brenta, il Canale Piovego, l'Idrovia, il Naviglio Brenta, il Canale Taglio Novissimo, e lo Scolo Fiumazzo).

Gli elementi unidimensionali sono stati a loro volta utilizzati per descrivere i canali della rete di bonifica in base alle informazioni reperite presso i locali Consorzi di Bonifica (Consorzio Sinistra Medio Brenta e Consorzio Bacchiglione Brenta).

Tronchi speciali di tipo “soglia sfiorante” sono stati utilizzati, infine, per descrivere il flusso al di sopra degli argini dei corsi d'acqua principali nell'eventualità che si dovesse verificare la tracimazione o il cedimento degli argini stessi.

La Fig. 9.2 riporta la planimetria del bacino con l'indicazione dei principali collettori di ciascun sottobacino e della posizione dei sopra citati impianti idrovori. La Tabella 9.1 riporta i dati essenziali di portata e delle quote di attacco e stacco dei gruppi pompa adottati nella modellazione le cui caratteristiche di funzionamento sono state ricavate sulla base dei dati reperiti presso i consorzi di bonifica ed in particolare negli archivi informatizzati reperibili negli studi effettuati dal Prof. Bixio per conto del Consorzio Venezia Nuova ([9], [10]).

Anche in questo caso il riferimento plano-altimetrico principale per la costruzione del modello matematico è costituito dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, della quale sono stati acquisiti tutti gli elementi relativi al territorio indagato in formato sia raster che vettoriale. Il piano quotato della Carta Tecnica ha consentito sia la suddivisione del dominio in elementi bidimensionali e unidimensionali, sia l'assegnazione delle quote altimetriche agli elementi bidimensionali. Con i files raster, inoltre, georeferenziati nello stesso sistema di riferimento della CTR, è stata costituita una base grafica sulla quale è stato digitalizzato il tracciato di tutti gli elementi morfologici rilevanti ai fini delle elaborazioni (Fig. 9.2). In particolare sono stati digitalizzati, oltre ai confini del comprensorio, i limiti dei centri abitati ed i tracciati degli elementi principali della rete viaria, selezionando tutti i rilevati ferroviari, le autostrade, le strade provinciali ed altri elementi (scarpate, dossi, rampe di ponti e cavalcavia), la cui conformazione in rilevato rispetto alla campagna circostante può verosimilmente costituire un significativo ostacolo alla propagazione dell'onda di sommersione sul terreno.

Per una migliore lettura degli elementi principali appena descritti, della Fig. 9.2 è riportata una rappresentazione alla scala 1:50.000 nella allegata Tav. 5.

Il reticolo di calcolo risultante dalla schematizzazione è rappresentato in Fig. 9.3.

Complessivamente lo schema risulta composto da 7057 nodi, 11377 elementi bidimensionali, 1712 elementi unidimensionali, 887 tronchi speciali e 10 idrovore.

La Fig. 9.4 riporta una rappresentazione a colori della distribuzione delle quote assegnate agli elementi della mesh di calcolo.

Con riferimento all'altimetria del terreno, si nota un andamento del terreno sufficientemente regolare e degradante nella direzione da nord ovest a sud est con quote variabili da un massimo di circa 18.5 m s.l.m. a valori anche sotto il livello del mare nelle zone più depresse, che sono poi quelle servite da sollevamento meccanico.

Riguardo ai dati necessari per descrivere la geometria delle sezioni dei corsi d'acqua principali vi è da segnalare che, allo stato attuale, si riscontra una generalizzata carenza di informazioni. In particolare per il Canale Piovego, l'Idrovia, il Naviglio Brenta, il Taglio Novissimo, il Tergola, il Serraglio, il Muson Vecchio, il Taglio di Mirano e i Canali Bondante, Bondante di Sotto, Fossetta Barambani la geometria delle sezioni è stata ipotizzata basandosi principalmente sulle informazioni reperibili dalla CTR. Per quanto riguarda le quote degli argini (descritte a mezzo di tronchi speciali), esse sono state assegnate esclusivamente sulla base della CTR.

Difficoltà ancora maggiori si sono incontrate nel reperimento dei dati relativi ai manufatti idraulici che controllano il funzionamento dei principali corsi d'acqua. Se infatti esistono dati per descrivere con sufficiente dettaglio il funzionamento della rete minore gestita Consorzi di Bonifica, del tutto insufficienti sono gli elementi che si sono reperiti per descrivere la regolazione dei corsi d'acqua di competenza della Regione Veneto e del Magistrato alle Acque. E' peraltro da porre in evidenza che, come nel caso del territorio adiacente al F. Dese, alcune importanti indagini idrologiche ed idrauliche sia sperimentali che modellistiche sono attualmente in corso (ci si riferisce in particolare al modello SALVE e al progetto DRAIN, da parte del Consorzio Venezia Nuova, e agli studi finalizzati all'elaborazione del Piano di Bacino del Bacino Scolante da parte della Regione Veneto. Si auspica che i succitati studi attualmente in corso da parte degli enti competenti possano mettere nel prossimo futuro a disposizione gli elementi sia sperimentali sia modellistici raccolti, i quali potranno sicuramente fornire una significativa banca dati utile ai fini della validazione del modello.

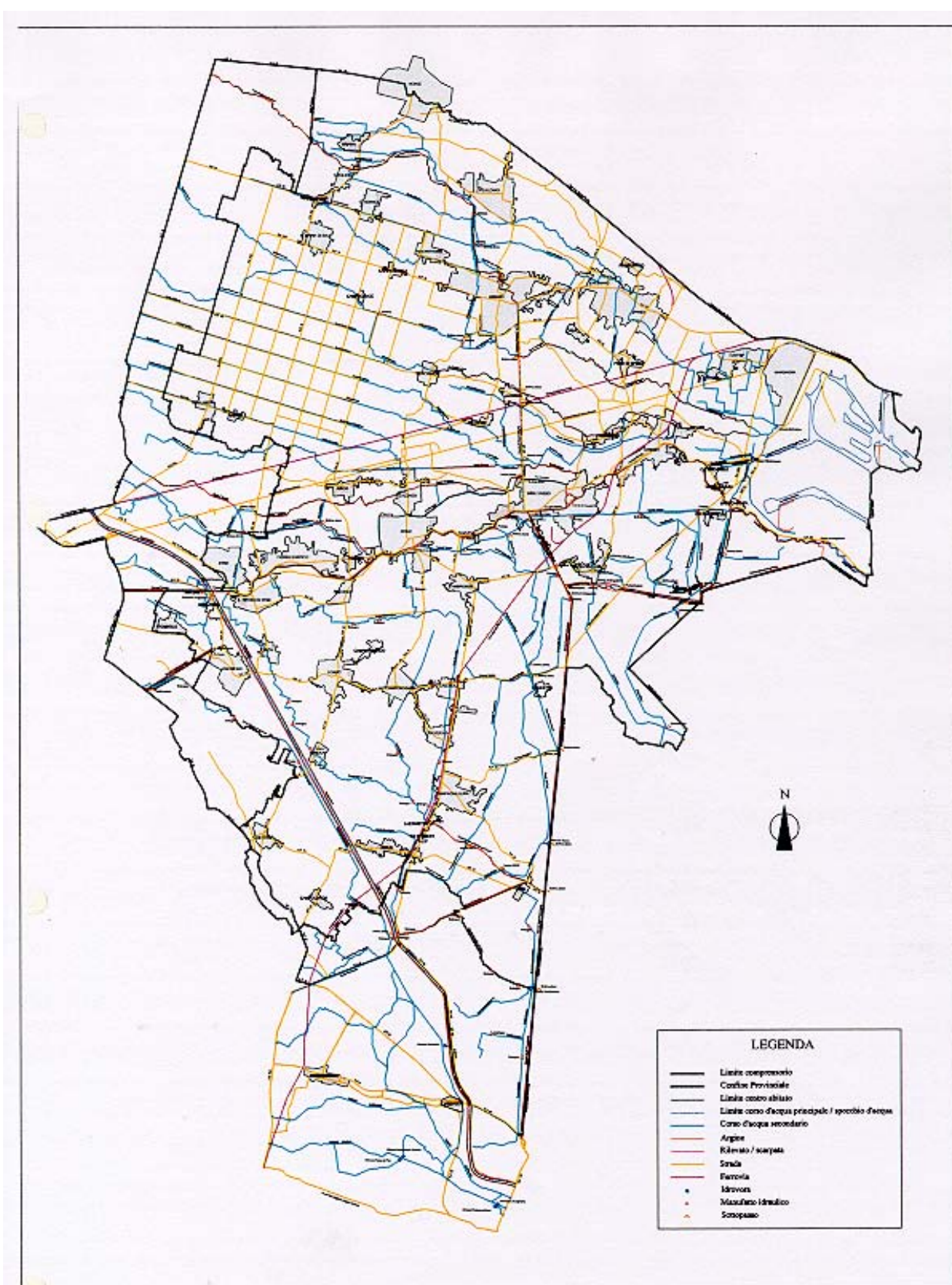


Fig. 9.2 - Schematizzazione del territorio compreso tra F. Marzenego e F. Brenta

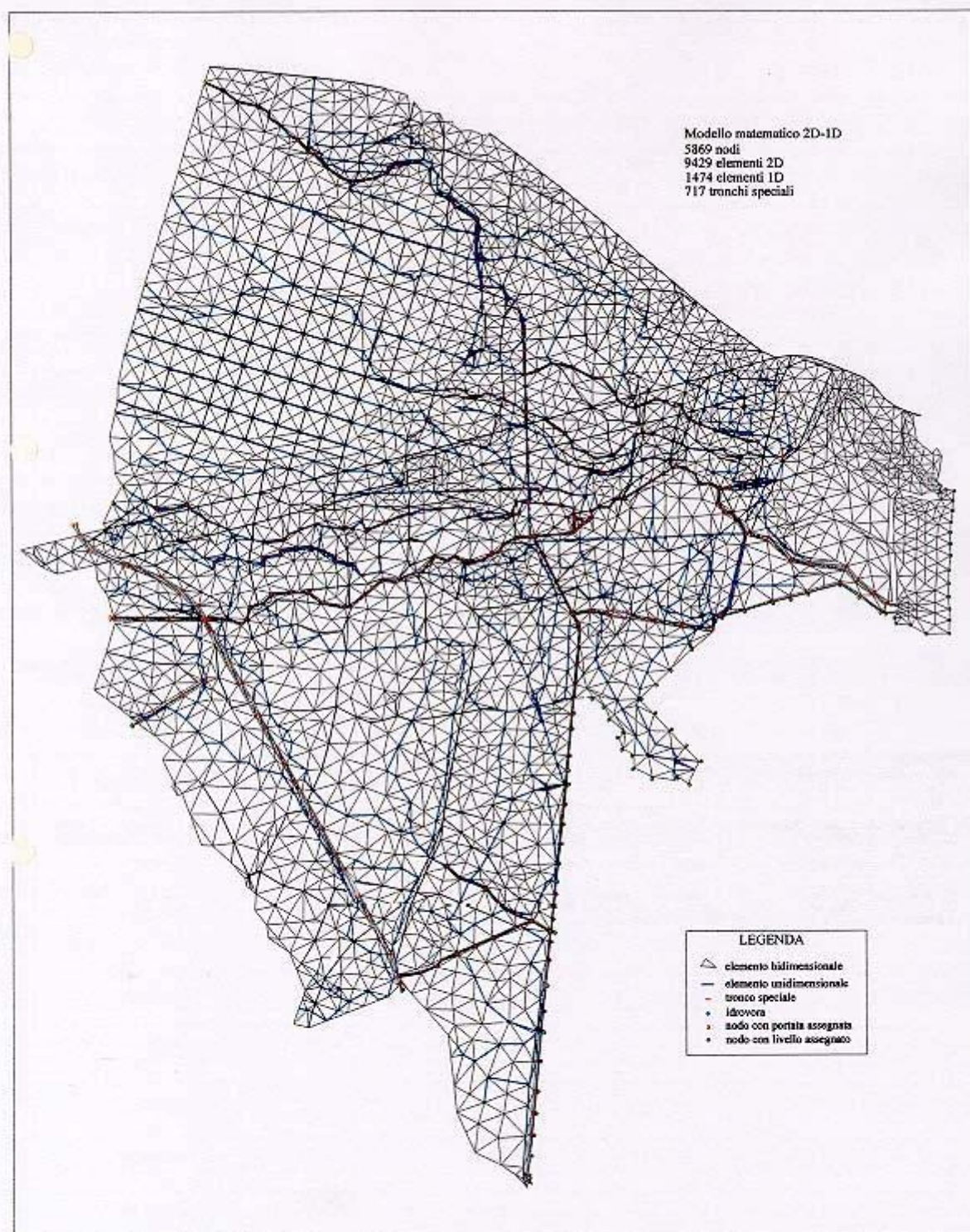


Fig. 9.3 - Territorio compreso tra F. Marzenego e F. Brenta. Reticolo di calcolo del modello uni-bidimensionale.
 Scala 1:150.000.

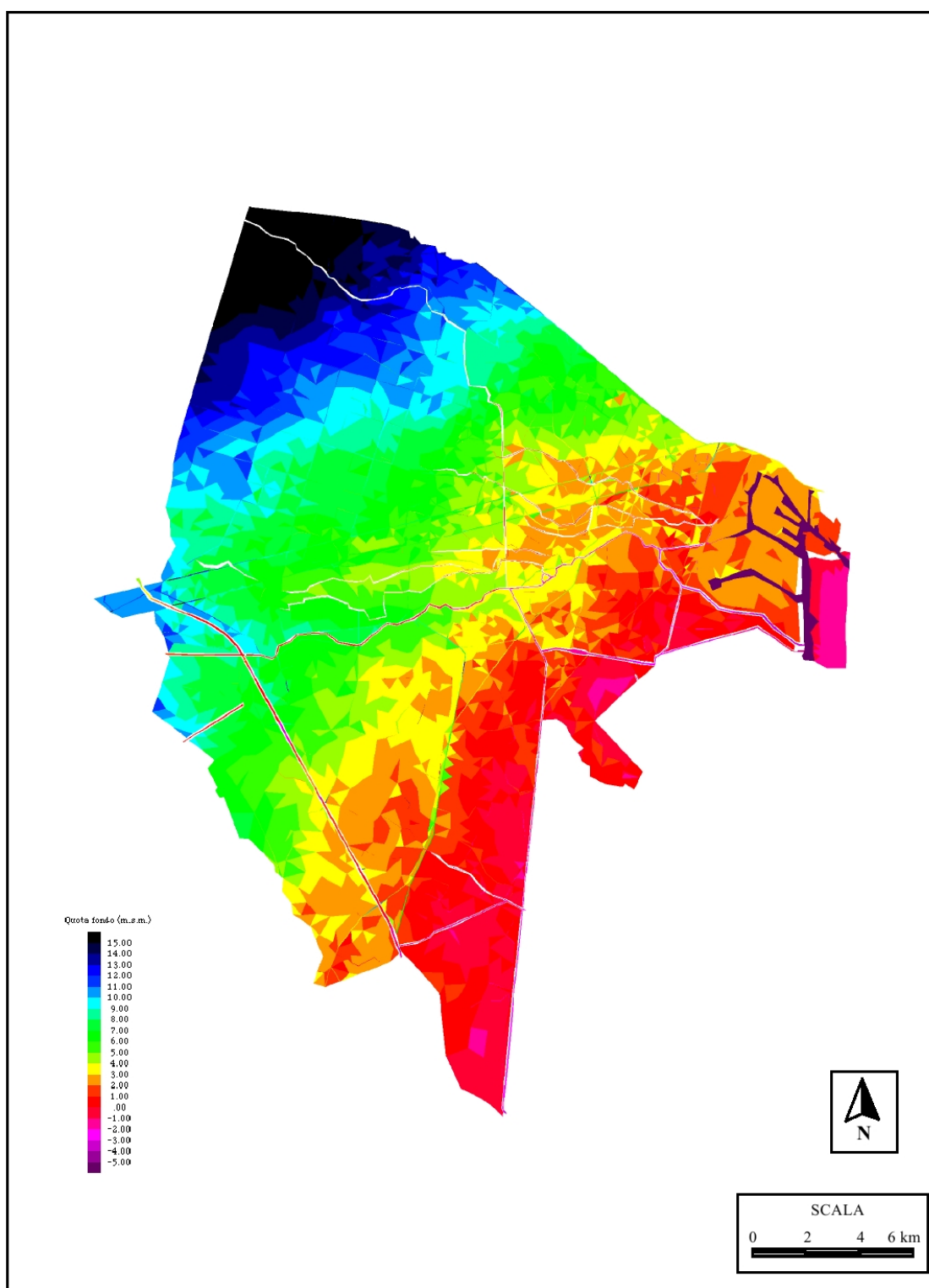


Fig. 9.4 - Territorio compreso tra F. Marzenego e F. Brenta. Schematizzazione dell'altimetria del territorio con il modello matematico.

9.3. Scelta delle simulazioni

Come è stato sottolineato nel paragrafo precedente, lo svolgimento delle indagini modellistiche per il territorio in esame è risultato notevolmente difficoltoso per la generalizzata carenza dei dati necessari per effettuare l'applicazione.

In pratica, nonostante la collaborazione di tutti gli enti gestori della rete idrografica (Genio Civile Regionale, Magistrato alle Acque, Autorità di Bacino, Consorzi di Bonifica) i dati raccolti sono risultati del tutto insufficienti per effettuare, analogamente ai casi precedenti, delle simulazioni sul possibile funzionamento del reticolo idrografico in caso di piena.

Infatti, se da un lato è risultato ben documentato il funzionamento della rete minore, per la quale esistono degli archivi informatizzati sufficientemente aggiornati e sicuramente adeguati per gli scopi della modellazione, dall'altro mancano quasi completamente i dati necessari per descrivere, anche in prima approssimazione, la geometria dei collettori principali che drenano il sistema. Tra questi in particolare il Naviglio Brenta, il Taglio Novissimo, il Tergola, il Serraglio, il Muson Vecchio, il Taglio di Mirano, il C. Bondante, che in pratica costituiscono, dopo il Brenta, i principali corsi d'acqua di questo territorio. Oltre a ciò si è riscontrata una generalizzata mancanza di informazioni di tipo idrologico, necessaria per stabilire l'andamento degli idrogrammi di piena che possono produrre situazioni di rischio di allagamento su questo territorio.

Tale situazione si può da una parte ricondurre all'estrema complessità del reticolo idrografico, caratterizzato dalla presenza di numerosissime singolarità, quali manufatti idraulici, sottopassi ed intersezioni, che rende l'analisi del funzionamento idraulico del sistema estremamente complessa, in secondo luogo al frazionamento delle competenze idrauliche tra diversi enti gestori, con la conseguenza che anche i pochi dati idrologici ed idraulici esistenti non sono organizzati ed archiviati sistematicamente.

Nonostante questi limiti, al fine di dimostrare la validità dell'applicazione anche per questa parte del territorio, sono state effettuate delle simulazioni "parziali" incentrate sull'unico corso d'acqua principale per il quale i dati disponibili consentono di definire con una certa attendibilità il regime idraulico in caso di piena, e cioè il Brenta.

Tale fiume, pur scorrendo in prossimità del margine meridionale del territorio considerato, può verosimilmente rappresentare un possibile minaccia per una parte del territorio provinciale poiché, come gli studi svolti dall'Autorità di Bacino (Studi finalizzati alla redazione del Piano di Bacino dei fiumi Brenta – Bacchiglione) e le fasi precedenti di questa indagine [5] e [6] dimostrano, esso può, in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi, raggiungere quote idrometriche al limite delle sommità arginali, con conseguenti pericoli di allagamento per i territori adiacenti.

Per definire le condizioni al contorno per le simulazioni si è fatto riferimento ad un recente lavoro di tesi svolto presso l'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova con il medesimo modello matematico qui utilizzato [11].

Tale indagine, svolta anche con il supporto della Provincia di Venezia che ha reso disponibili i dati necessari per la modellazione dei tratti terminali del Brenta e del Bacchiglione, ha analizzato il rischio di esondazione lungo il corso del Brenta a partire da Fontaniva, a nord di Padova, e fino alla foce, con riferimento ad un evento di piena confrontabile, per gravità, con quello del 1966.

Tali risultati, messi gentilmente a disposizione dall'ing. L. Carniello, autore della tesi, sono stati ritenuti particolarmente significativi poiché essi sono stati calcolati utilizzando la medesima metodologia qui seguita, ovvero con un modello matematico bidimensionale che tiene conto dei possibili fenomeni di esondazione per sormonto delle sommità arginali.

9.4. Simulazione A – Esame della propagazione lungo il Brenta di una piena confrontabile con quella del 1966

La prima simulazione ha preso in considerazione una piena di entità confrontabile con quella realmente verificatasi nel 1966, che diede origine a numerose e gravi esondazioni lungo tutto il corso del Brenta.

Nello studio [11] preso a riferimento si esamina, con il medesimo modello uni-bidimensionale qui impiegato, la propagazione di tale onda di piena, la cui portata al colmo è valutata in circa 2700 m³/s all'altezza di Fontaniva, all'uscita del bacino montano.

Il tempo di ritorno di tale evento è valutato in più di 100 anni.

Secondo il calcolo condotto in [11] l'onda di piena, nella sua propagazione verso valle, subisce una notevole laminazione del suo colmo per effetto di esondazioni che si verificano soprattutto a monte di Limena, e che portano le portate massime in arrivo nel territorio qui considerato ad essere pari a circa 2150 m³/s.

Tale effetto di laminazione è notevole, e tuttavia le portate massime in arrivo sono ancora superiori alla capacità di portata del fiume nel tratto all'interno della Provincia di Venezia. Infatti, come è evidenziato nella tesi, i livelli idrometrici che si stabiliscono al passaggio di tali portate sono tali in primo luogo da mettere in crisi, per rigurgito, le arginature del C. Piovego con conseguenti esondazioni di quest'ultimo, e in secondo luogo, da raggiungere le sommità arginali dello stesso Brenta nel tratto tra Strà e Codevigo. Tale situazione critica si protrae anche nel tratto terminale del Brenta, dove esso scorre affiancato al Bacchiglione, come del resto è stato già ampiamente messo in evidenza nelle più volte menzionate precedenti fasi dello studio [5] e [6].

Utilizzando come condizioni al contorno l'andamento della portata nella sezione di monte e l'andamento del livello in quella di valle, calcolati nello studio [11], la simulazione della piena del 1966 è stata ripetuta per verificarne gli effetti con il modello messo a punto. Per tutti gli altri corsi d'acqua del comprensorio sono state adottate come condizioni al contorno delle portate di modesta entità in modo da riprodurre il funzionamento del sistema in condizioni normali.

I risultati del calcolo sono sintetizzati nelle Figg. 9.5 e 9.6.

I grafici di Fig 9.5 illustrano l'andamento del livello idrometrico e della portata in alcune sezioni significative del tratto di Brenta considerato. Dai grafici si osserva che le portate in arrivo da monte pari a circa 2150 m³/s si riducono a circa 1750 m³/s all'altezza della briglia di Strà. Ciò dipende dalle già menzionate esondazioni del Piovego per effetto di rigurgito a causa dei livelli elevati del Brenta. Questi ultimi, infatti, sono pari a oltre 13 m s.l.m. a ridosso della briglia e non possono pertanto essere contenuti dalle arginature del Piovego. Più a valle le portate massime si propagano senza ulteriori riduzioni, ad indicare che non si verificano ulteriori esondazioni tra Stra e Codevigo. Se si confrontano però i livelli idrometrici massimi con le quote delle sommità arginali si ottiene che il franco rispetto a queste ultime è inferiore ai limiti di sicurezza, segnalando il pericolo di incipiente tracimazione. Ciò accade in particolare a valle di Stra e più a valle, all'altezza di Sandon.

Le mappe di Fig. 9.6 mostrano a loro volta la progressione degli allagamenti originati dall'esondazione del Piovego. Si osserva che la lama d'acqua che tracima su entrambi i lati del Piovego si espande rapidamente verso sud (parte delle acque che esondano sul lato Nord del Piovego si propagano anch'esse verso sud sottopassando il canale attraverso la botte del Rio Noventana), e sommerge una vasta area che interessa i centri abitati di Tombelle e Vigonovo, e raggiunge persino l'abitato di Campolongo arrestandosi in pratica contro l'argine del C. Fiumazzo.

In definitiva le conseguenze di un evento come quello considerato sul F. Brenta sono riconducibili al rischio di allagamento soprattutto dei territori adiacenti al F. Piovego il quale, essendo dotato di arginature poste a quote inferiori rispetto a quelle del fiume principale, è destinato, per effetto di rigurgito, ad esondare per primo.

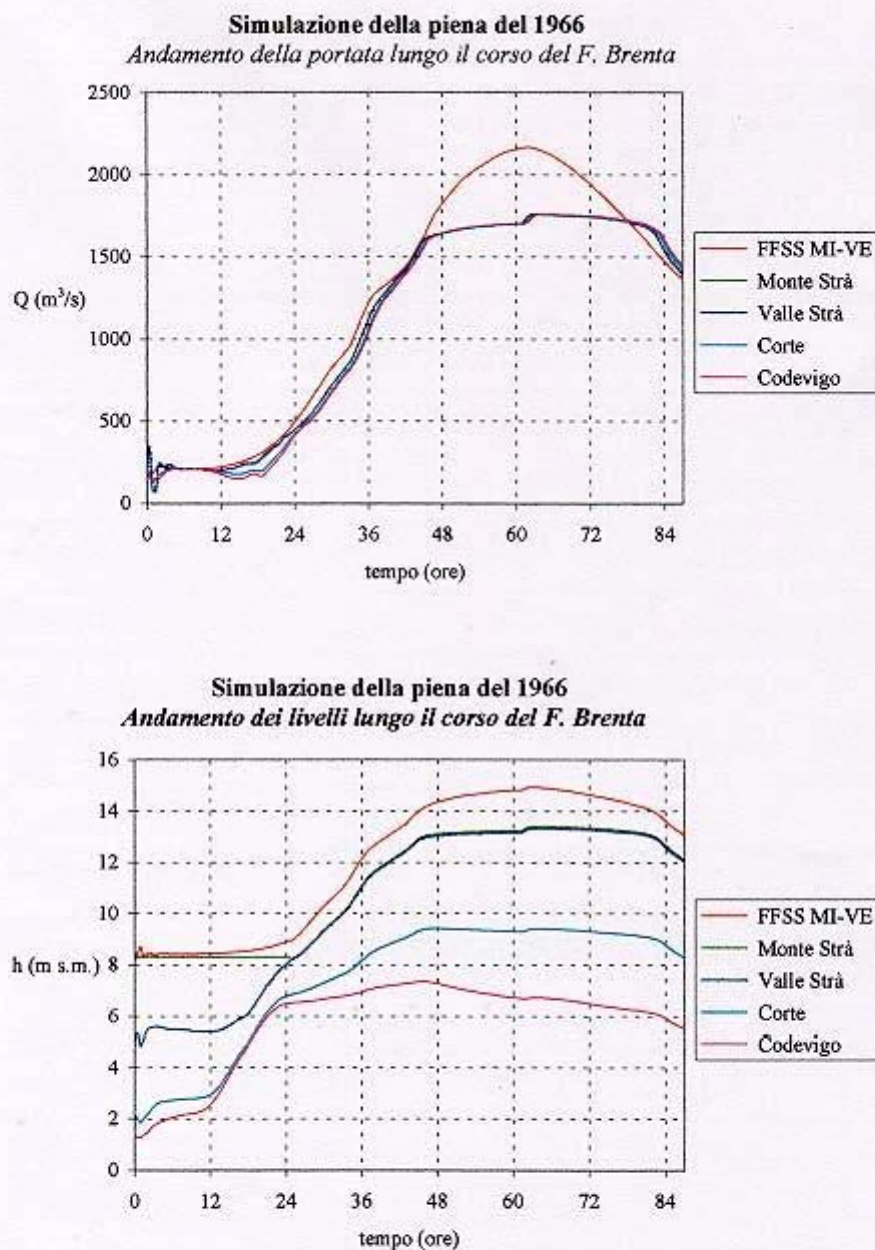


Fig. 9.5 - Andamento della portata e del livello in alcune sezioni del F. Brenta nella simulazione della propagazione di un'onda di piena analoga a quella del novembre 1966 - CASO A

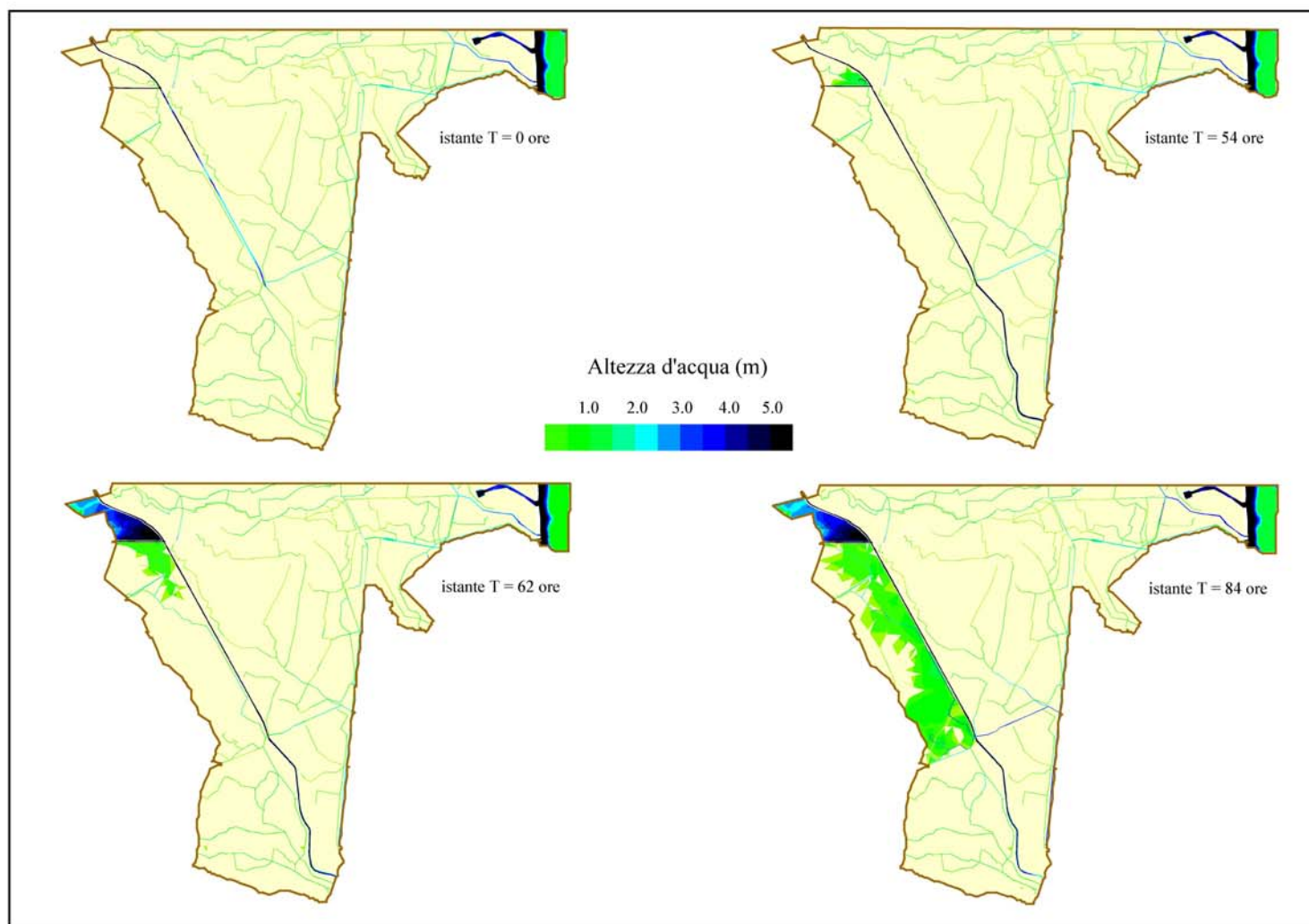


Fig. 9.6 - Territorio adiacente al F. Brenta. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena analogo a quello del 1966 (caso A).

9.5. Simulazione B – Esame della propagazione lungo il Brenta di una piena confrontabile con quella del 1966 ipotizzando il cedimento di un tratto dell'argine sinistro a valle della briglia di Strà

Una seconda simulazione ha preso in esame, con riferimento al medesimo evento di piena confrontabile con quello del 1966 esaminato nel caso precedente, l'effetto di un eventuale cedimento dell'argine del Brenta in un tratto in cui, con riferimento al caso precedente, le quote idrometriche massime sono risultate al limite del sormonto delle sommità arginali.

Il tratto individuato come critico si trova immediatamente a valle del sostegno di Strà, lungo l'argine sinistro del Brenta.

Nella simulazione si è ipotizzato che, in prossimità del passaggio del colmo della piena, nell'argine si apra una breccia della lunghezza di 60 m che porti, nell'arco di un'ora, le quote delle sommità arginali dal loro valore attuale pari a circa 13.5 m s.l.m a 8.5 m s.l.m.. Tale eventualità, ovviamente del tutto ipotetica, ed arbitraria nella sua localizzazione e dimensioni, costituisce peraltro un evento possibile in caso di una piena che, come nel caso ipotizzato, porti le quote idrometriche massime fino al limite del sormonto delle arginature.

Obiettivo della simulazione è, comunque, fondamentalmente quello di verificare l'applicabilità e la versatilità del modello per simulare scenari particolarmente gravosi che possono investire non solo le zone di pertinenza del fiume, ma anche il territorio adiacente e i più vicini centri abitati.

I risultati del calcolo sono sintetizzati nelle Figg. 9.7 e 9.8.

In Fig. 9.7 sono riportati, analogamente al caso precedente, gli andamenti del livello idrometrico e della portata fluente in alcune sezioni significative del tratto di Brenta considerato.

Confrontando tali grafici con quelli relativi al caso precedente è immediato osservare che l'effetto del collasso arginale si traduce in una repentina riduzione della portata a valle, che passa da circa 1700 m³/s a poco più di 1400 m³/s.

Per effetto di chiamata si verifica anche un brusco incremento delle portate a monte del punto in cui si verifica l'esondazione.

Per quanto riguarda i livelli, anche per essi l'effetto della rotta si traduce in una brusca diminuzione, che ne porta i valori massimi a essere ridotti di circa 50 cm rispetto al caso precedente.

La successiva Fig. 9.8 mostra la sequenza degli allagamenti originati dalla rotta. E' immediato notare che, per effetto delle esondazioni del Brenta si riducono drasticamente quelle originate dal Piovego al punto che, nello scenario considerato, gli allagamenti si propagano a partire dalla zona di formazione della breccia verso la Laguna di Venezia, interessando principalmente i centri abitati di S. Pietro di Strà, Fossò, Camponogara, Campagna Lupia e Boion.

Si vuole ribadire ancora una volta che lo scenario simulato è del tutto ipotetico poiché prevede, oltre all'arrivo di un evento di piena di entità confrontabile con quello del 1966, il cedimento di un tratto arginale del Brenta senza che questo sia prima sormontato dalle acque. Tuttavia tale scenario può essere considerato come una delle possibili conseguenze di una situazione di crisi generalizzata del corso del Brenta che certamente si verificherebbe se un evento come quello del 1966 dovesse ripetersi. In tali casi la possibilità di disporre di uno strumento di simulazione adeguato può fornire un utile supporto alle scelte operative da seguire per la gestione delle situazioni di emergenza.

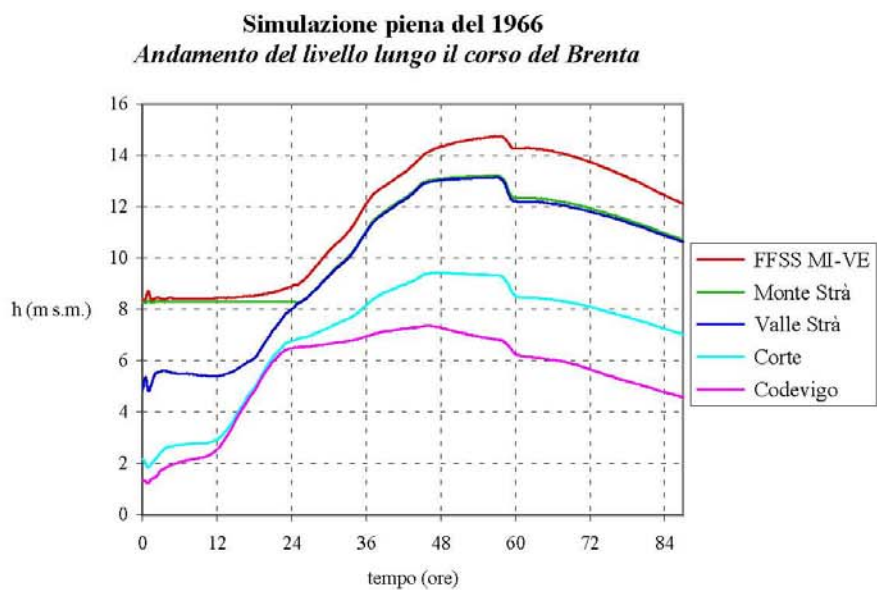
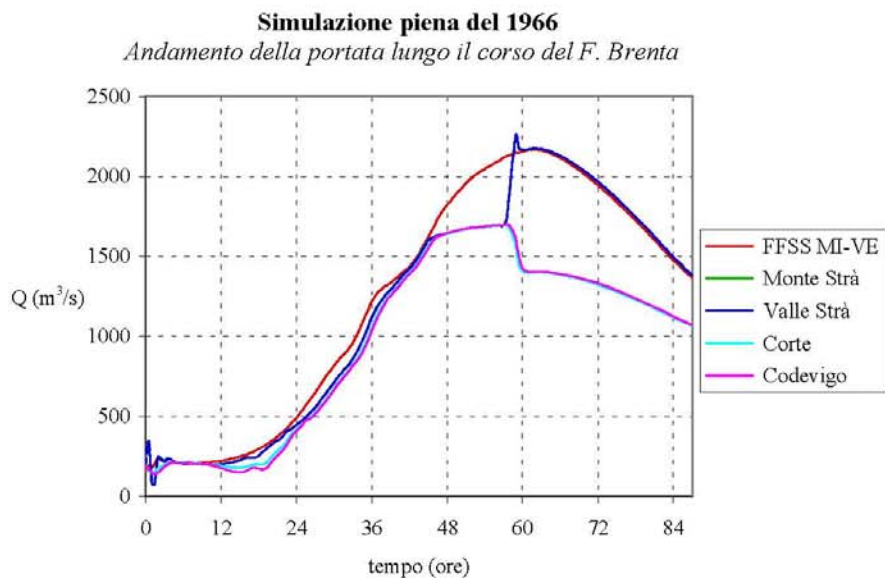


Fig. 9.7 - Andamento della portata e del livello in alcune sezioni del F. Brenta nella simulazione della propagazione di un'onda di piena analoga a quella del novembre 1966 - CASO B (rotta a valle di Strà)

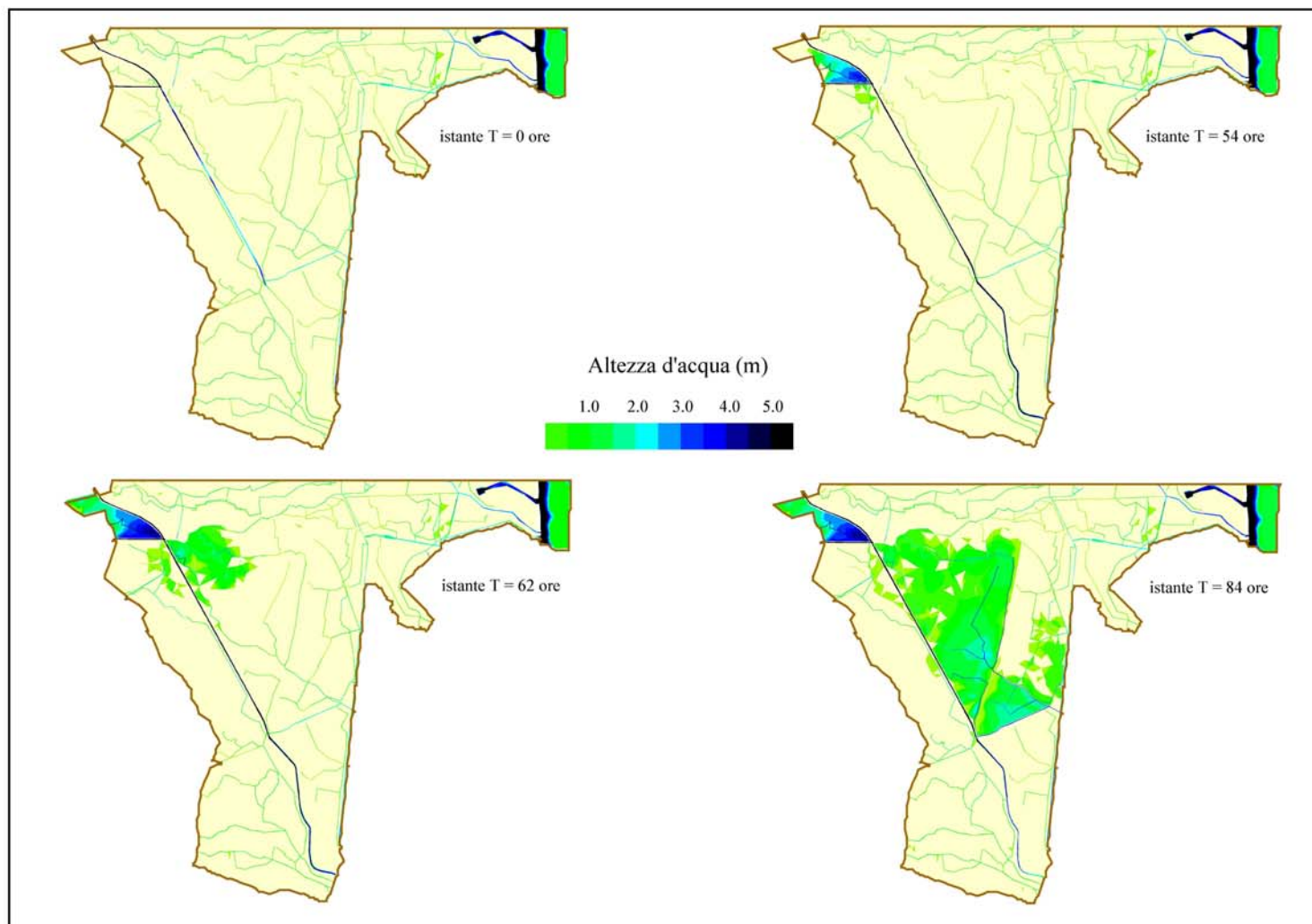


Fig. 9.8 - Territorio adiacente al F. Brenta. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena analogo a quello del 1966, ipotizzando il cedimento di un tratto arginale in sinistra idrografica (caso B).

9.6. Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

L'applicazione del modello matematico alla parte centrale del territorio della Provincia di Venezia è risultata molto difficoltosa per la generalizzata carenza di dati riscontrata.

In particolare, nonostante le ricerche presso gli enti competenti, non sono risultati disponibili i dati necessari per la schematizzazione della geometria di gran parte dei principali corsi d'acqua che solcano questo territorio, mentre informazioni sufficienti si hanno solo relativamente al reticolo idrografico minore, di competenza dei Consorzi di Bonifica. Inoltre non sono disponibili in misura sufficiente i dati e gli studi idrologici ed idraulici necessari per valutare le caratteristiche (in termini di livelli idrometrici e di portate) degli eventi di piena critici che possono interessare i principali corsi d'acqua del sistema.

Le ragioni di questa situazione sono state individuate da una parte nell'estrema complessità del reticolo idrografico, caratterizzato dalla presenza di numerosissime singolarità, quali manufatti idraulici, sottopassi ed intersezioni, che rende l'analisi del funzionamento idraulico del sistema estremamente difficoltosa, in secondo luogo al frazionamento delle competenze idrauliche tra diversi enti gestori, con la conseguenza che anche i pochi dati idrologici ed idraulici esistenti non sono organizzati ed archiviati sistematicamente.

Nonostante le ricerche svolte e il notevole lavoro di schematizzazione effettuato, si può pertanto concludere che il modello matematico relativo a questa parte del territorio provinciale non può essere considerato completato nella sua messa a punto, poiché le incertezze sulle caratteristiche dei corsi d'acqua principali sono da ritenersi eccessive per gli scopi previsti. È auspicabile che gli studi in via di completamento da parte di Regione Veneto, Consorzio Venezia Nuova e CNR (studi finalizzati alla redazione dei Piani di Bacino Regionali, modello SALVE, progetto DRAIN), possano nel prossimo futuro fornire i dati necessari per completare ed aggiornare la schematizzazione in modo che si possa, anche per questa parte del territorio provinciale, completare la messa a punto questo strumento di previsione utile ai fini della gestione delle emergenze.

Nonostante questi limiti, il modello matematico è stato applicato anche a questa parte del territorio per esaminare i possibili fenomeni di allagamento legati ad esondazioni del Brenta.

Tale scenario è stato scelto da una parte perché gli elementi disponibili per descrivere il funzionamento del corso del Brenta in caso di piena sono sufficienti per consentire un'attendibile applicazione del modello, dall'altra perché l'eventualità di esondazioni del Brenta nel suo tratto terminale risulta, anche sulla base degli studi condotti dall'Autorità di Bacino, possibile per eventi di entità confrontabile con quello accaduto nel 1966, il cui tempo di ritorno si può considerare superiore a 100 anni.

I risultati delle simulazioni hanno messo in evidenza che, per eventi di tale gravità, il territorio provinciale adiacente al fiume Brenta nel tratto che va da Strà a Corte è potenzialmente a rischio di allagamento. Ciò accade in particolar modo per effetto delle esondazioni del Piovego il quale confluisce nel Brenta a Strà e, in occasione di piene eccezionali, può essere rigurgitato dal fiume maggiore. Secondo la simulazione le esondazioni del Piovego, per effetto delle pendenze dei terreni, tendono a propagarsi verso sud in adiacenza all'argine sinistro del Brenta e possono potenzialmente investire un'area piuttosto vasta che interessa gli abitati di Tombelle e Vigonovo, anche se la lama d'acqua prevista dai calcoli è generalmente di modesta entità (inferiore ad 1 m).

Ben più grave è lo scenario che si verificherebbe nel caso in cui le esondazioni fossero originate da una rotta del Brenta. Per simulare questa eventualità, remota per eventi contenuti entro le arginature del fiume, ma possibile nel caso di eventi eccezionali che portassero le quote idrometriche massime oltre il limite delle sommità arginali, è stato ipotizzato che, al passaggio di

un'onda di piena confrontabile con quella verificatasi nel 1966, si verifichi un cedimento dell'argine sinistro del Brenta a valle della Briglia di Strà, con la conseguente formazione di una breccia. In questo caso il modello simula la propagazione di un'onda di sommersione che avanza progressivamente verso sud-est seguendo la naturale pendenza dei terreni ed indirizzata dai rilevati esistenti, interessando un territorio molto vasto, compreso tra il Brenta stesso, il Naviglio Brenta e la linea ferroviaria Adria Mestre. L'evento simulato, ovviamente ipotetico nella scelta del punto e delle modalità di formazione della breccia, è utile per dimostrare le potenzialità dello strumento di calcolo messo a punto nella simulazione di scenari critici che possono però, in casi eccezionali realmente verificarsi, evidenziando quali possono essere le conseguenze sul territorio in termini di altezza della lama d'acqua e velocità di avanzamento dell'onda di sommersione.

10 - APPLICAZIONE DEL MODELLO AL BACINO DEL CANALE DEI CUORI

10.1 - Schematizzazione del sistema

Il modello descritto nel capitolo precedente è stato applicato per simulare il comportamento del tratto terminale del Canale dei Cuori in occasione di un evento di piena, e di verificare gli effetti conseguenti ad una sua eventuale esondazione. Il territorio considerato è compreso fra il corso dei fiumi Bacchiglione e Gorzone ed è costituito per lo più da terreni agricoli giacenti mediamente a quote inferiori, anche di alcuni metri, al livello medio del mare. Il deflusso delle acque meteoriche avviene per mezzo di una rete di collettori di bonifica che raccolgono i contributi dei bacini secondari e li sversano nel Canale dei Cuori mediante una serie di impianti idrovori. Lo stesso canale raccoglie inoltre il contributo del bacino della Fossa Monselesana, situato a monte, il cui drenaggio avviene invece a gravità. Le portate risultanti vengono sollevate dall'impianto idrovoro di Ca' Bianca, posto in prossimità della sezione terminale del Canale dei Cuori in Comune di Chioggia e, attraverso un manufatto del tipo "botte a sifone" che sottopassa sia il Bacchiglione che il Brenta, vengono infine sversate nel canale delle Trezze e quindi in Laguna di Venezia.

L'area di indagine ricade interamente nel territorio di competenza del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione, che gestisce l'esercizio e la manutenzione delle opere idrauliche per lo smaltimento delle acque. L'attuale gestione del tratto terminale del Canale dei Cuori risulta peraltro alquanto precaria e difficoltosa in concomitanza con eventi di piena aventi tempi di ritorno anche modesti, soprattutto per l'insufficienza dell'asta terminale del canale, le cui sommità arginali sono attualmente per lunghi tratti a quote inferiori a quelle necessarie per garantire un franco adeguato. Oltre a ciò la capacità di smaltimento delle acque dell'impianto di Ca' Bianca può risultare insufficiente soprattutto se, come spesso accade, all'evento di piena si accompagna il verificarsi di stati idrometrici elevati nella laguna che rigurgitano le acque scaricate rendendo difficile o a volte impossibile il funzionamento delle idrovore. Il modello matematico può costituire in questo caso un utile strumento per esaminare il funzionamento globale del bacino durante il verificarsi dell'evento di piena, e per individuare le situazioni critiche e le eventuali insufficienze del sistema di drenaggio.

Per l'applicazione a questo caso particolare lo schema di calcolo è stato appositamente perfezionato mediante l'inserimento di procedure in grado di schematizzare il funzionamento degli impianti di sollevamento. Ciò ha consentito di semplificare notevolmente la fase di assegnazione delle condizioni al contorno del problema e di ottenere una simulazione completa e realistica dell'evento esaminato.

L'area considerata per l'applicazione del modello è rappresentata in Fig. 10.1. Essa è stata delimitata in modo da considerare l'intera superficie dei sottobacini scolanti nel Canale dei Cuori a valle della confluenza con la Fossa Monselesana.

In particolare i contorni del dominio di calcolo sono stati assunti in corrispondenza dei rilevati che presumibilmente possono delimitare le aree allagabili da eventuali esondazioni del canale principale nel suo tratto terminale o degli scoli secondari dei sottobacini ad esso afferenti. In queste ipotesi i limiti meridionale ed orientale coincidono con l'argine settentrionale del fiume Gorzone, a partire dalla località Rottanova situata poco a monte di Cavarzere e fino alla confluenza con il Brenta; il limite settentrionale segue il rilevato della strada provinciale Rebosola, che nel tratto di monte coincide con l'argine del canale omonimo; a monte, infine, il bacino risulta delimitato dalla strada che congiunge Cona alla stessa località Rottanova.

L'area individuata occupa 10700 ha, pari a circa il 22 % della superficie complessiva del comprensorio gestito dal Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione, e comprende le aree di 10 dei 28 sottobacini in cui tale comprensorio è suddiviso. Il deflusso delle acque meteoriche avviene, come si è detto, per sollevamento meccanico, mediante una serie di impianti idrovori ciascuno dei quali smaltisce gli apporti di un sottobacino. Nella stessa Fig. 10.1 sono indicati i principali collettori di ciascun sottobacino e la posizione degli impianti idrovori. Si può osservare come i due sottobacini situati più ad Est, cioè i bacini Punta Gorzone e Punta Orientale, non siano tributari del canale dei Cuori, ma sversino il loro contributo nel Gorzone e nel Brenta, rispettivamente. La Tabella 10.1 riporta l'estensione di ciascun sottobacino e la sua incidenza percentuale sul totale delle aree tributarie del tratto considerato del Canale dei Cuori.

La morfologia del territorio è stata schematizzata, secondo la metodologia illustrata nel Capitolo 2, mediante elementi di calcolo bidimensionali e unidimensionali. I primi, di forma triangolare, sono stati impiegati per rappresentare il terreno, i rilevati stradali e arginali, e l'alveo del Canale dei Cuori; gli elementi unidimensionali sono stati invece utilizzati per descrivere i canali della rete di scolo.

Come si è detto nel Capitolo 2, la descrizione della altimetria del dominio si ottiene assegnando ad ogni elemento triangolare il valore medio della quota locale del terreno, e il valore di un parametro (Y_{lim}) che quantifica l'altezza delle asperità ed irregolarità locali della superficie rispetto a tale quota media. Gli elementi triangolari devono essere disposti in modo da coprire l'intero dominio e descrivere accuratamente la geometria del sistema. Va fatto notare a questo riguardo come la dimensione degli elementi possa essere variabile, e sia opportuno costruire un reticolo più fitto dove le variazioni dell'altimetria del terreno sono più brusche e più rado dove l'altimetria è maggiormente uniforme. E' pertanto evidente come la possibilità di schematizzare adeguatamente il sistema sia essenzialmente legata alla disponibilità di una cartografia aggiornata che descriva con il necessario dettaglio l'altimetria del terreno e la presenza di tutti quegli elementi morfologici (fossati, rilevati stradali o ferroviari, centri abitati, etc.) che principalmente controllano la propagazione delle onde di sommersione sul terreno. In questo caso si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, che costituisce un supporto del tutto adeguato allo scopo. Il piano quotato della Carta Tecnica ha consentito sia la suddivisione del dominio in elementi bidimensionali ed unidimensionali, sia la assegnazione delle quote altimetriche agli elementi bidimensionali. Per quanto riguarda il valore del parametro Y_{lim} , esso avrebbe potuto, a rigore, essere dedotto sperimentalmente sulla base della distribuzione spaziale della altimetria del terreno e delle dimensioni degli elementi di calcolo. In questo caso, in mancanza dei dati specifici, esso è stato assunto costante e pari a 0.3 m, che corrisponde al valore adottato in precedenti esperienze analoghe. Va comunque osservato che, agli effetti dei risultati forniti dal modello, il valore di questo parametro controlla essenzialmente la velocità di propagazione del fronte di allagamento sul terreno e in questo caso, dati gli scopi esemplificativi dell'indagine, non si è ritenuto opportuna un'analisi specifica volta ad una sua valutazione più accurata.

Gli elementi unidimensionali che schematizzano i tronchi di canale si collocano sui lati degli elementi bidimensionali e si appoggiano pertanto agli stessi nodi di calcolo. Il generico elemento unidimensionale ha sezione rettangolare, e per ciascuno di essi va specificata la larghezza e la quota media del fondo. Questi dati sono stati ricavati utilizzando tutte le sezioni reali disponibili, fornite dal Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione. I dati mancanti sono stati integrati assegnando ai corrispondenti canali delle dimensioni proporzionali alle aree di scolo asservite.

Il Canale dei Cuori, date le sue maggiori dimensioni rispetto ai canali secondari, è stato schematizzato interamente con elementi bidimensionali, prestando particolare attenzione alla

descrizione dell'andamento altimetrico delle quote arginali. I dati necessari sono stati ricavati dal rilievo di dettaglio eseguito recentemente a cura del Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione.

A questo proposito va sottolineata l'importanza, del resto ovvia, di poter disporre di una base di dati quanto più completa e aggiornata possibile sulla rete scolante, costituita dalle sezioni e dai profili longitudinali dei canali e, quando necessario, dai profili longitudinali delle sommità arginali. In questo caso specifico è risultato fondamentale il contributo fornito dal citato Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione, che dispone di tutti i dati necessari e ne ha consentito l'utilizzo.

In Fig.10.2 è rappresentato il reticolo di calcolo risultante, composta da circa 1400 nodi, 2500 elementi bidimensionali e 280 elementi unidimensionali. In figura sono evidenziati anche i nodi in corrispondenza dei quali sono state assegnate le immissioni di portata e quelli in cui sono state inserite le idrovore, come verrà meglio specificato nel seguito.

La successiva Fig. 10.3 rappresenta la distribuzione delle quote altimetriche risultante dalla schematizzazione. Si può notare in particolare come le quote medie del terreno siano generalmente soggiacenti rispetto al livello medio del mare con numerose zone poste addirittura al di sotto della quota -3.0 m s.l.m.. Inoltre la figura evidenzia, seppur schematicamente, come l'idealizzazione del dominio mediante la tecnica degli elementi finiti consenta di descrivere la morfologia del terreno senza trascurare quegli elementi che, pur possedendo limitata estensione spaziale, possono costituire, come si è detto, ostacoli o vincoli geometrici di primaria importanza ai fini della propagazione del flusso sul terreno (fossati, rilevati, corpi arginali, etc.). La apparente discontinuità della rappresentazione a colori deriva dal tipo di schematizzazione adottata, secondo la quale ogni elemento triangolare ed ogni elemento unidimensionale sono caratterizzati da una quota costante.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione del sistema, sono stati assunti sulla base della letteratura tecnica e di precedenti esperienze analoghe, non essendo possibile disporre delle misure sperimentali necessarie per la taratura dello schema. Si è pertanto adottato generalmente un coefficiente di scabrezza K_s secondo Strickler pari a $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali e pari a $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree esterne allagabili. Va detto a questo proposito che molto difficilmente è possibile disporre di misure contemporanee di livello e di portata necessarie per la taratura del modello. Questo peraltro non toglie validità ai risultati che questo tipo di modelli matematici, ormai lungamente collaudati, può fornire, soprattutto in casi come quello in esame, in cui l'indagine è finalizzata non tanto alla riproduzione puntuale del regime idrodinamico di un corso d'acqua o di un bacino, quanto piuttosto ad un'analisi comparata, attraverso i risultati ottenuti, fra le risposte del sistema a condizioni al contorno diverse.

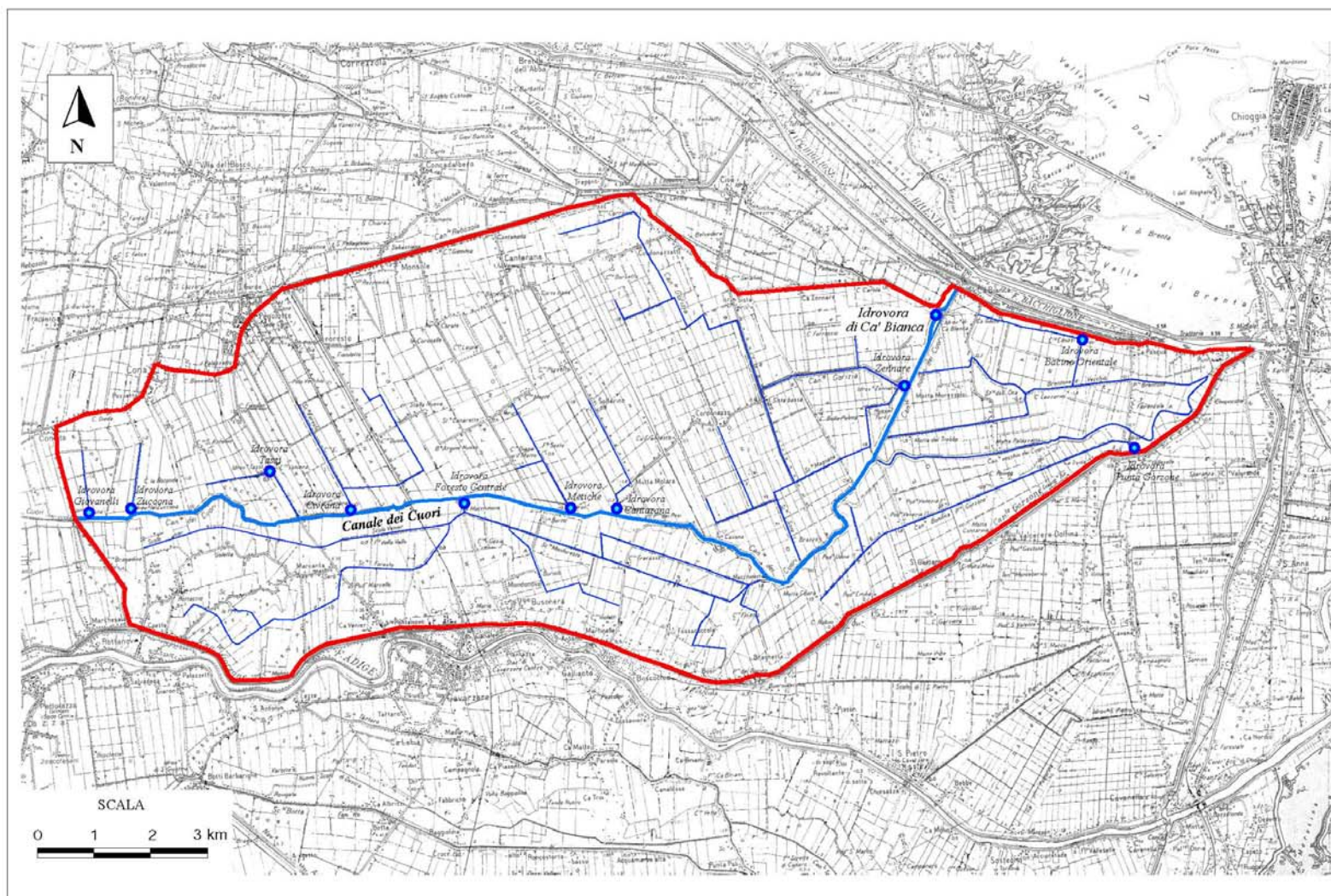


Fig. 10.1 - Corografia del tratto terminale del bacino del Canale dei Cuori.

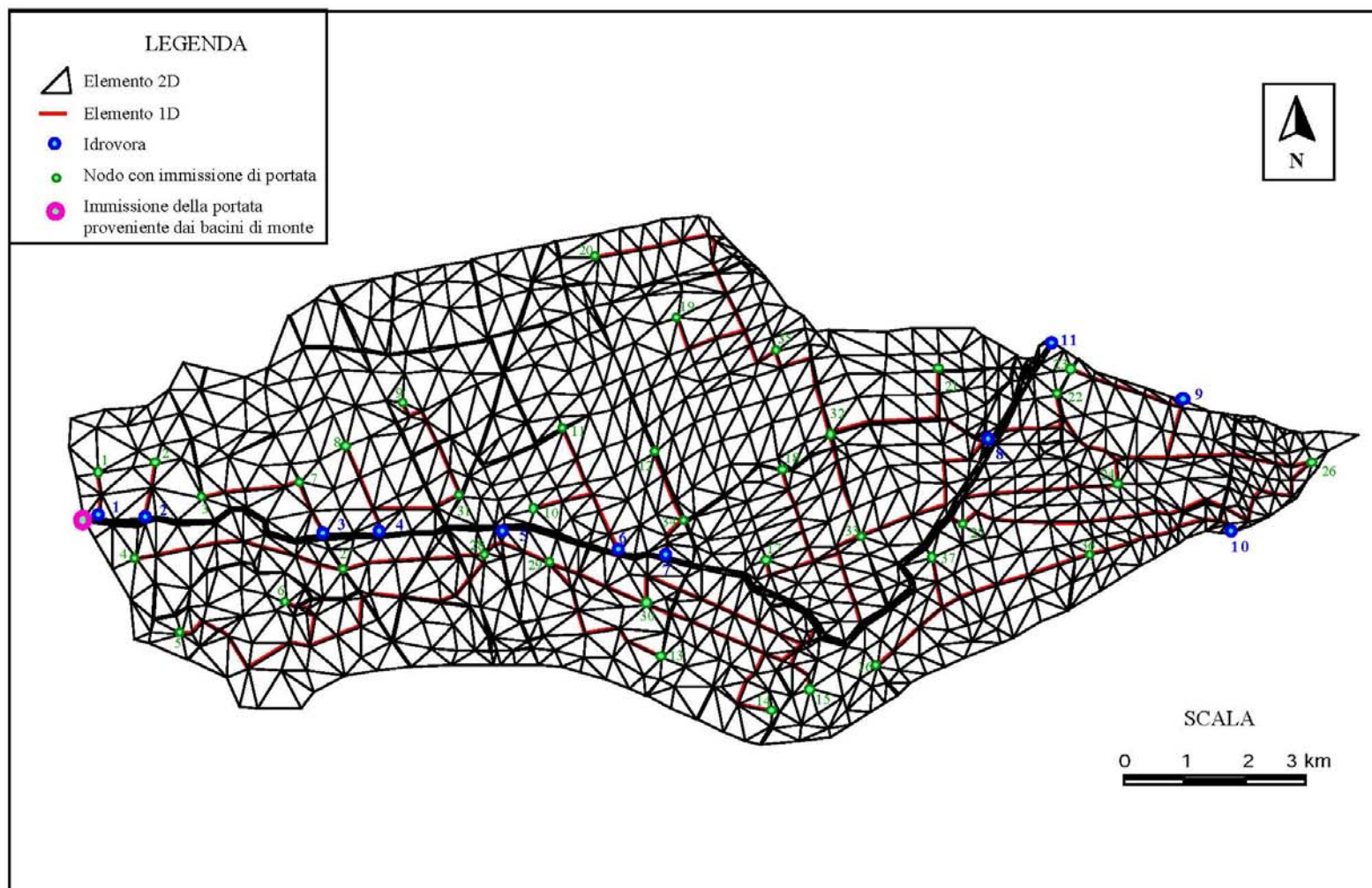


Fig. 10.2 - Mesh di calcolo del modello matematico del bacino del Canale dei Cuori con indicazione delle idrovore e dei nodi di immissione della portata.

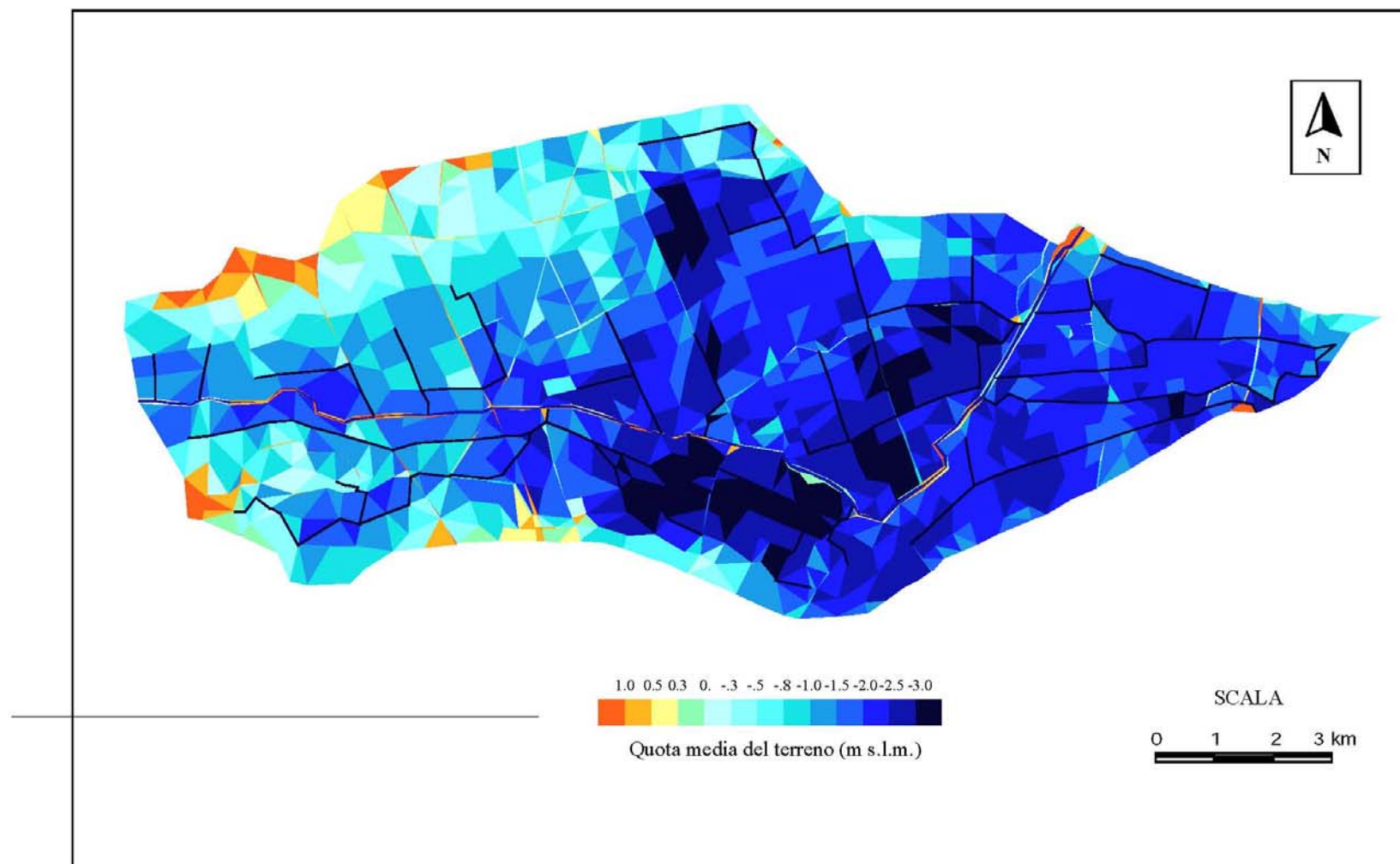


Fig. 10.3 - Rappresentazione della quota del terreno nel bacino del Canale dei Cuori con la schematizzazione adottata per il modello matematico.

10.2 - Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni consistono principalmente nell'assegnazione dell'andamento delle portate entranti nel sistema in corrispondenza di nodi prefissati. In tale modo è possibile simulare il contributo delle varie superficie scolanti al riempimento della rete.

Il Canale dei Cuori funziona da collettore sia per le acque provenienti dal bacino di monte scolante a deflusso naturale nella Fossa Monselesana, sia per i deflussi a sollevamento meccanico che provengono dai vari bacini di valle. Per valutare l'entità di tali afflussi alla rete si è fatto riferimento al "Progetto delle opere di diversione idraulica dalla laguna, incremento degli invasi e controllo dell'inquinamento diffuso di origine agricola" del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione, 1994. Dalla "Relazione Idrologica ed Idraulica" allegata al progetto sono state tratte le informazioni necessarie per definire uno scenario realistico del funzionamento del sistema in condizioni di piena. In particolare nello studio citato viene condotta un'analisi idrologica che porta al calcolo del coefficiente udometrico per il bacino della Fossa Monselesana. Per un evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni tale contributo è stato stimato pari a 2.43 l/s/ha. Nello stesso studio è riportato poi l'idrogramma delle portate entranti nel bacino del Canale dei Cuori, provenienti dal bacino della Fossa Monselesana, calcolato per il medesimo tempo di ritorno. In questo caso, date le finalità della presente indagine, si è ritenuto lecito estendere i risultati ottenuti per il bacino della Fossa Monselesana anche all'area in esame, utilizzando lo stesso coefficiente udometrico e adottando l'andamento nel tempo delle portate calcolate per la fossa Monselesana come idrogramma di riferimento (Fig. 10.4).

La valutazione del contributo alla rete di ciascuno dei 10 sottobacini che compongono il sistema considerato è stata ottenuta suddividendo il sottobacino stesso in porzioni e calcolando per ciascuna di esse la portata entrante nel sistema, avendone assegnato l'andamento variabile nel tempo secondo l'idrogramma di riferimento, e il valore di colmo pari al prodotto del coefficiente udometrico per l'area sottesa. Gli idrogrammi così ottenuti sono stati applicati come portate entranti concentrate sui nodi dei canali di ciascun sottobacino.

Nella precedente Fig. 10.2 sono indicati i nodi in cui sono state assegnate le portate entranti così calcolate. La tabella seguente (Tabella 10.2) riporta la suddivisione delle portate per ciascuna porzione di sottobacino, e il conseguente valore della portata massima entrante dal relativo nodo di immissione.

Gli apporti provenienti da monte sono stati assegnati sui nodi di estremità del Canale dei Cuori (Fig. 10.2). Si è ipotizzato che il contributo proveniente da monte vari nel tempo secondo lo stesso andamento dell'idrogramma di riferimento, e raggiunga un valore di colmo pari a 20 m³/s. Anche in questo caso va sottolineato come la valutazione precisa dell'entità degli afflussi alla rete esuli dagli scopi dello studio, le cui finalità sono principalmente quelle dell'illustrazione delle potenzialità della metodologia di indagine proposta.

Il collegamento fra i canali della rete minore e il collettore principale (Canale dei Cuori) è stato descritto introducendo nello schema di calcolo delle condizioni interne che simulassero il funzionamento dell'impianto idrovoro. In pratica sono stati introdotti dei tronchi fittizi di collegamento fra l'estremità del canale di scolo e il collettore, attraverso i quali la portata viene scaricata in funzione del livello che si stabilisce nel nodo di monte. Utilizzando opportune procedure sono state introdotte nello schema le principali caratteristiche degli impianti idrovori, costituite in particolare, per ciascun impianto, dal numero di gruppi pompa, dalla portata sollevata da ciascuno di essi, e dalle relative quote idrometriche di attacco e stacco. In questo modo quando, nel corso della simulazione, il livello idrometrico nel nodo di finale della rete

secondaria supera la quota assegnata di attacco del primo gruppo pompa, la portata inizia ad essere scaricata nel ricettore, modificando di conseguenza l'andamento crescente del livello nella rete di monte. Eventualmente potrà presentarsi l'eventualità del successivo stacco del gruppo, se la tendenza crescente del livello viene invertita dall'effetto del pompaggio, oppure quello dell'attacco del gruppo successivo se ciò non accade, e così via. Ne consegue che il funzionamento delle idrovore viene ad essere trattato come condizione interna al modello e non è necessario intervenire dall'esterno nel corso della simulazione per controllare lo scambio di portata fra la rete minore e il collettore principale.

Con il medesimo tipo di schematizzazione è stato descritto anche il funzionamento dell'impianto principale di Ca' Bianca, il quale è dotato di 8 gruppi pompa da 6 m³/s ciascuno. In questo caso, come del resto anche per i due sottobacini che non scaricano nel Canale dei Cuori (Bacino Orientale e Punta Gorzone), si assume che la portata sollevata dall'idrovora venga scaricata all'esterno del dominio, equilibrando in tale modo l'insieme delle portate entranti nel sistema.

La precedente Tabella 10.2 riporta il numero di gruppi pompa degli impianti idrovori che servono ciascun sottobacino, e la portata sollevata da ogni gruppo. Questi dati sono stati anch'essi ricavati dalla citata "Relazione Idrologica ed Idraulica" del Progetto del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione.

La descrizione delle caratteristiche delle idrovore deve essere completata, come si è detto, con l'assegnazione delle quote di attacco e stacco di ciascun gruppo. Poichè i dati disponibili sono risultati insufficienti (anche perchè alcune idrovore vengono manovrate manualmente) tali livelli sono stati assegnati in modo da essere compatibili con le quote locali del fondo del canale che alimenta l'idrovora. Il dislivello fra l'attacco e stacco di ciascun gruppo è stato assegnato costante e pari a 0.3 m. Solamente per l'idrovora di Ca' Bianca si sono potute utilizzare le quote di attacco e stacco reali dei gruppi pompa, dedotte dalla stessa "Relazione Idrologica ed Idraulica".

10.3 SIMULAZIONI EFFETTUATE

10.3.1 - Simulazione della risposta del sistema al verificarsi di un evento di piena

L'evento di piena descritto nel capitolo precedente è stato applicato al bacino per una prima verifica del funzionamento dello schema di calcolo. L'evento considerato ha durata pari a 60 ore e nell'istante di colmo introduce nel sistema una portata complessiva di circa 46 m³/s, dei quali circa 20 m³/s provengono dal bacino di monte e vengono introdotti nei nodi iniziali del Canale dei Cuori che definiscono il contorno aperto, ed i restanti 26 m³/s vengono immessi direttamente nei nodi indicati in Fig. 10.2. Come si deduce dalla Tabella 10.2, la portata complessiva delle idrovore che scaricano nel canale dei Cuori è pari a circa 16.5 m³/s, e pertanto ci si attende che il collettore convogli globalmente una portata massima di circa 36 m³/s all'impianto di Ca' Bianca. Questa portata massima risulta pertanto inferiore alla capacità di smaltimento dell'impianto che, come si è detto in precedenza, è pari complessivamente a 48 m³/s.

La simulazione dell'evento di piena è stata preceduta da una simulazione preliminare caratterizzata da una piccola immissione di portata costante a monte, in modo tale da riempire gradualmente la rete e portare il sistema ad una condizione di regime. Successivamente, a partire da questa situazione iniziale stazionaria le immissioni sono state fatte variare secondo l'idrogramma di riferimento, rappresentato nella precedente Fig. 10.4.

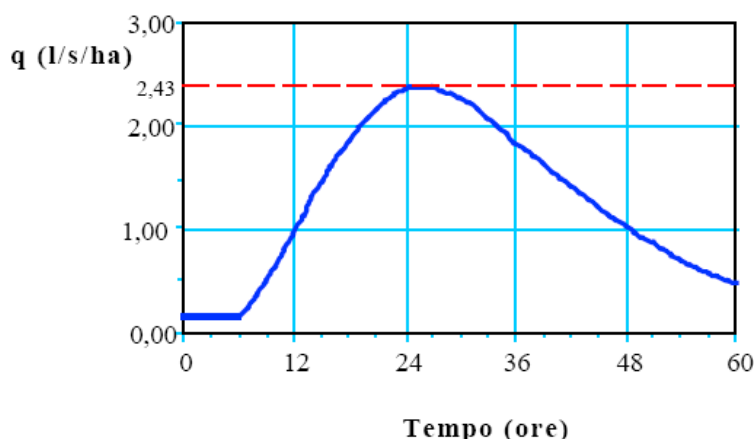


Fig. 10.4 - Idrogramma di riferimento utilizzato per le simulazioni con il modello matematico del bacino del Canale dei Cuori.

Le Figg. 10.5 - 10.8 illustrano i risultati ottenuti con riferimento agli impianti idrovori. I diagrammi riportano l'andamento nel tempo sia del livello nei nodi posti immediatamente a monte delle idrovore, sia delle portate che fluiscono nei tratti terminali di canale a monte delle idrovore stesse. E' possibile così visualizzare l'effetto dei ripetuti attacchi e stacchi delle pompe sui livelli idrometrici.

Per quanto riguarda le idrovore della parte occidentale del bacino (Idrovore Giovanelli, Zuccona e Tassi), i diagrammi mostrano come le portate affluenti superino sensibilmente la capacità di smaltimento degli impianti. Si vede infatti come generalmente il livello continui ad aumentare anche dopo l'attacco delle pompe, salendo fino ad un'altezza che corrisponde alla quota degli elementi bidimensionali che fiancheggiano il canale, esondando successivamente. In

particolare nel caso dell'idrovora Zuccona la tendenza decrescente della portata fluente dopo le ore 24 è legata presumibilmente proprio all'interferenza fra il canale e le zone adiacenti allagate. Infatti può accadere che, per la progressiva riduzione delle portate immesse nella fase finale dell'evento, parte delle acque esondate ritornino nel canale di scolo e vengano assorbite dall'idrovora. Nel caso dell'idrovora Zuccona questo scambio si concentra in particolare proprio nel nodo di monte dell'idrovora, per cui si verifica che la portata che transita nel canale a monte tende a diminuire, anche se quella assorbita dalle pompe rimane costante.

Generalmente, comunque, la portata che fluisce mediamente nel canale tende a variare secondo un andamento "a gradini" essendo controllata dal funzionamento dell'idrovora.

Per alcuni impianti si verifica il ripetuto attacco e stacco delle pompe nel corso della simulazione, e questo provoca delle oscillazioni di livello nei relativi nodi di monte (Idrovore Tassi, Civrana, Metiche, Cantarana, Figg. 10.5 - 10.8). Ciò dipende dalla considerevole portata che gli impianti in questione sono in grado di assorbire, tale da generare, all'entrata in funzione della pompa, un abbassamento del livello a monte che supera la soglia prefissata di spegnimento della pompa stessa. In questi casi l'accuratezza dei risultati dovrebbe essere controllata con la verifica delle quote di attacco e stacco delle pompe (che però in questo caso, come si è detto, non sono disponibili) e soprattutto con la verifica delle dimensioni assegnate ai tratti terminali dei canali di scolo. Tali dimensioni determinano infatti i volumi necessari per assorbire le perturbazioni indotte dall'improvvisa entrata in funzione delle pompe.

La Fig. 10.4 riporta i risultati ottenuti per l'idrovora di Ca' Bianca. Come si può vedere nel corso della simulazione entrano progressivamente in funzione 6 degli 8 gruppi pompa dell'impianto, per una portata massima smaltita di $36 \text{ m}^3/\text{s}$. Se si confronta questo diagramma con quelli delle figure precedenti si può osservare come le idrovore minori entrino tutte in funzione quasi contemporaneamente tra le ore 12 e le ore 14; questo induce un aumento di livello nel Canale dei Cuori che porta alla successiva accensione delle pompe di Ca' Bianca. In particolare si può riconoscere l'effetto dell'accensione del secondo gruppo di pompaggio dell'idrovora Zennare, i cui $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$, immessi a partire dalle ore 24 circa, generano un incremento di livello nel collettore che porta alla messa in funzione del sesto gruppo di pompaggio a Ca' Bianca attorno alle ore 28.5.

La Fig. 10.5 riporta il campo di velocità generato dal modello in un generico istante della simulazione. La figura esemplifica come lo strumento di calcolo possa fornire la visione di insieme dello stato del sistema in ogni istante della simulazione. La rappresentazione grafica della successione dei campi di velocità e di livello costituisce evidentemente uno strumento assai utile per la analisi della dinamica di un bacino come quello in esame. Per questo il modello è stato dotato di un'interfaccia grafica interattiva che consente la visualizzazione immediata su terminale video dei risultati della simulazione istante per istante, e offre la possibilità di selezionare ed evidenziare le zone o le grandezze di maggior interesse, e di stampare l'immagine visualizzata. In questo caso l'immagine mostra la distribuzione della velocità del flusso in tutti gli elementi (bidimensionali ed unidimensionali) che compongono il sistema, sovrapposto alla distribuzione delle altezze d'acqua sul terreno. Il grafico riportato nell'angolo sinistro indica che all'istante considerato (ore 24.00) la portata immessa secondo l'idrogramma di riferimento è prossima al colmo. Le velocità nel Canale dei Cuori variano approssimativamente fra 0.3 m/s nel tratto di monte e 0.15 m/s in quello di valle, dove la sezione è più ampia. Nei collettori minori le velocità sono generalmente più basse, e aumentano generalmente nei tratti terminali, a causa del progressivo incremento della portata fluente. Nei collettori meridionali del bacino Zennare e in quelli orientali del bacino Foresto Centrale le portate immesse superano quelle che possono essere smaltite e alcune aree risultano allagate.

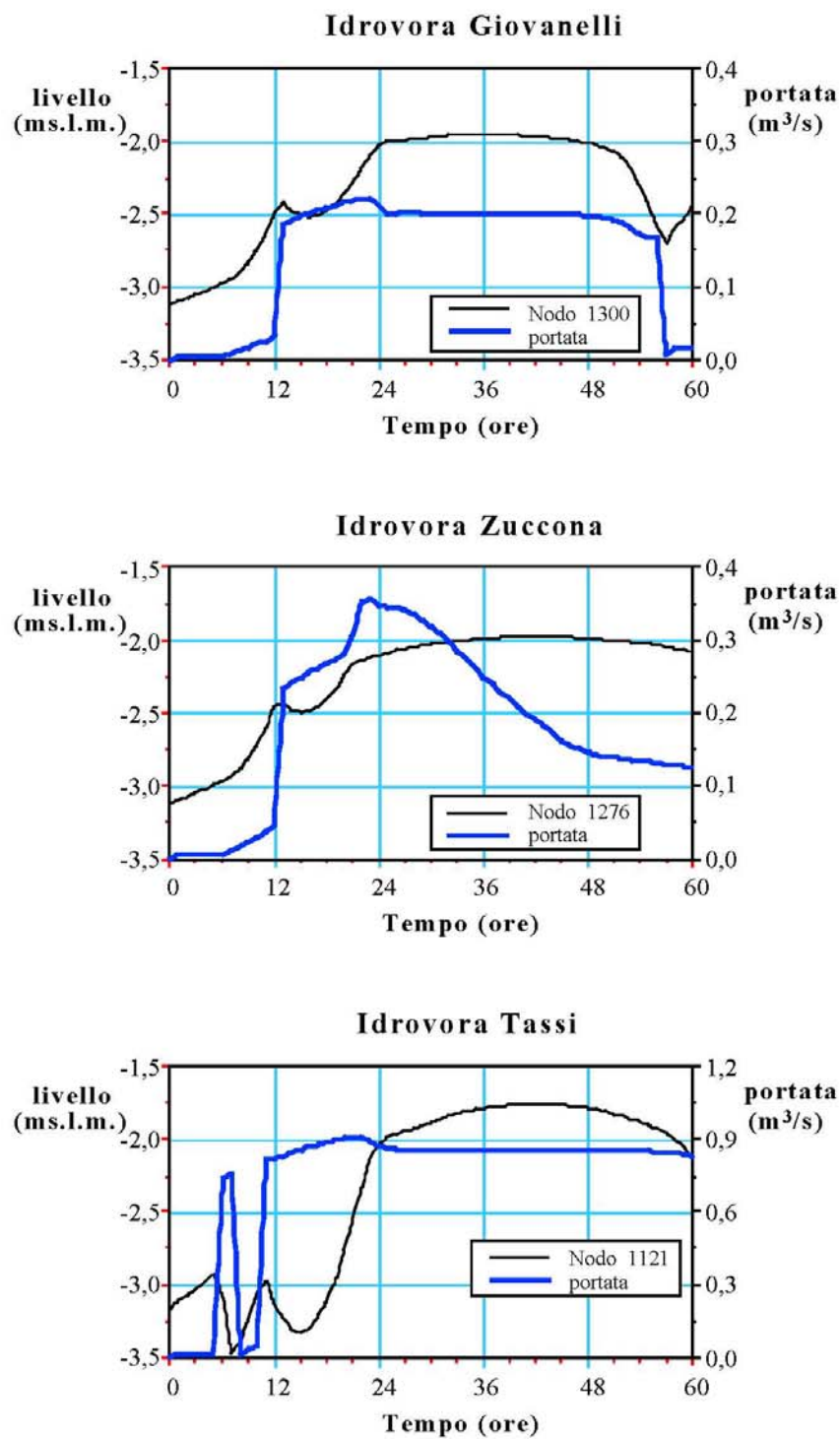


Fig. 10.5 - Andamento dei livelli nei nodi di monte delle idrovore Giovanelli, Zuccona e Tassi, e corrispondente andamento della portata fluente nel tratto terminale della relativa rete di scolo.

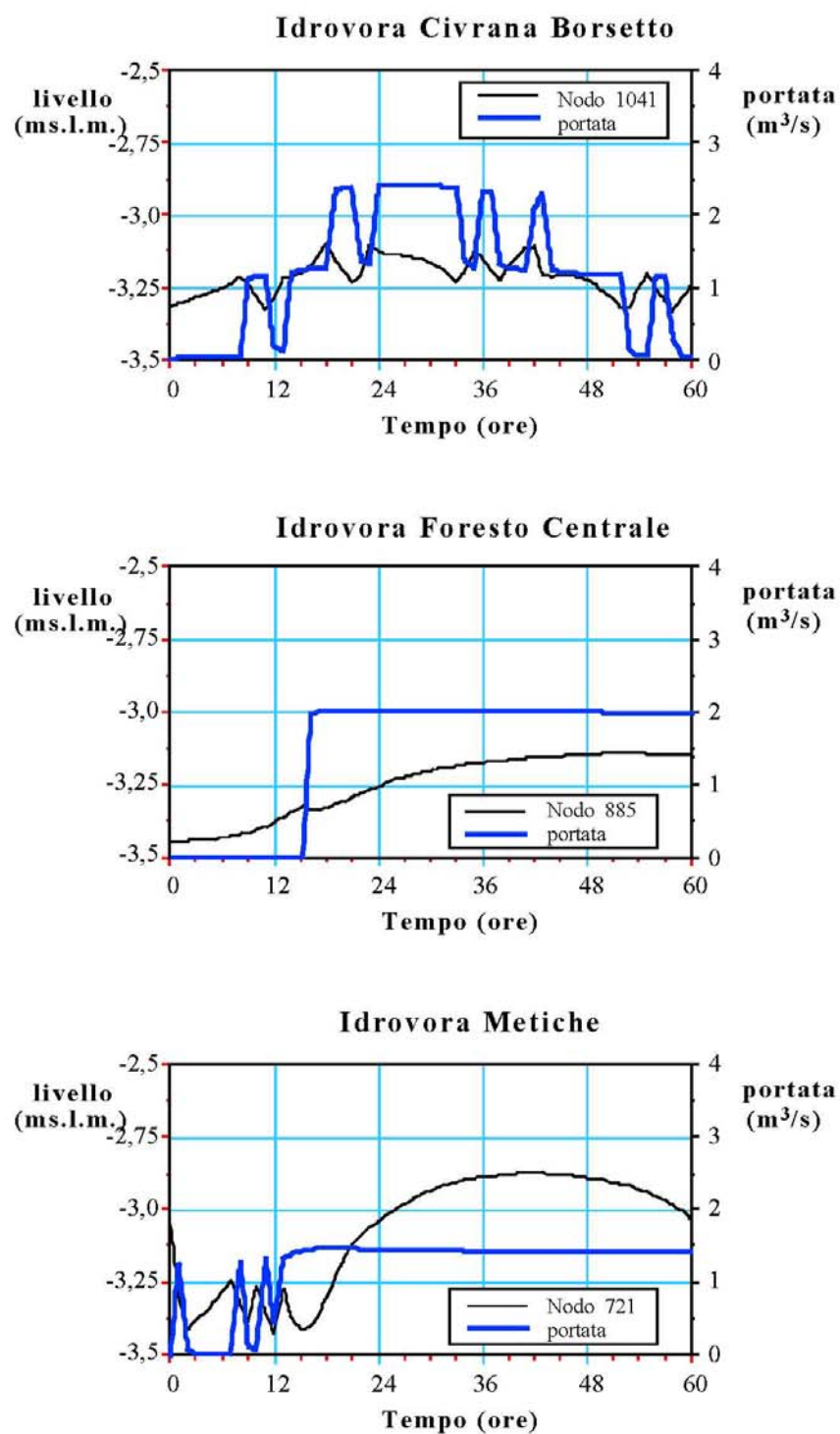


Fig. 10.6 - Andamento dei livelli nei nodi di monte delle idrovore Civrana Borsetto, Foresto Centrale e Metiche, e corrispondente andamento della portata fluente nel tratto terminale della relativa rete di scolo.

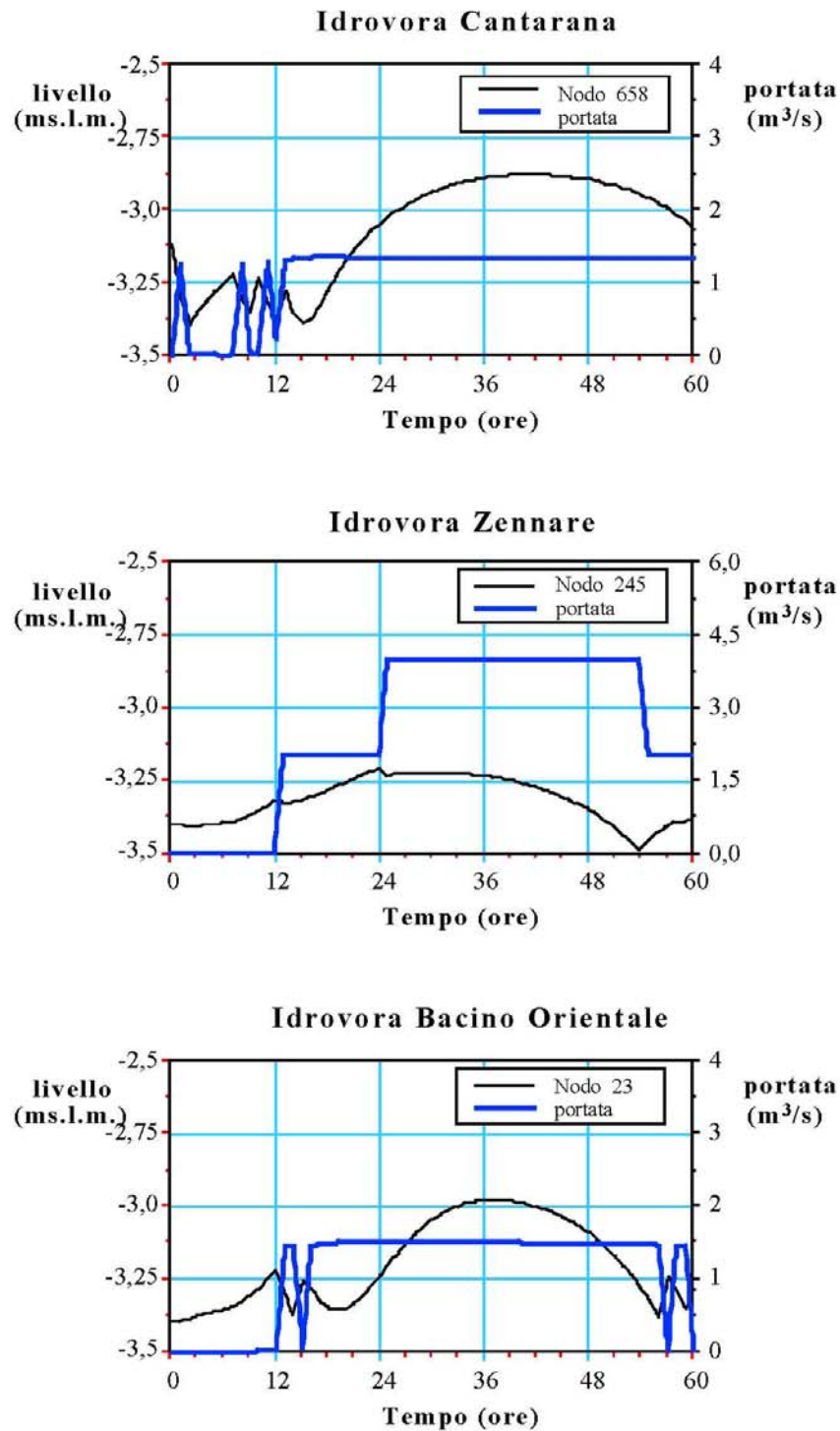


Fig. 10.7 - Andamento dei livelli nei nodi di monte delle idrovore Canarana, Zennare e Bacino Orientale, e corrispondente andamento della portata fluente nel tratto terminale della relativa rete di scolo.

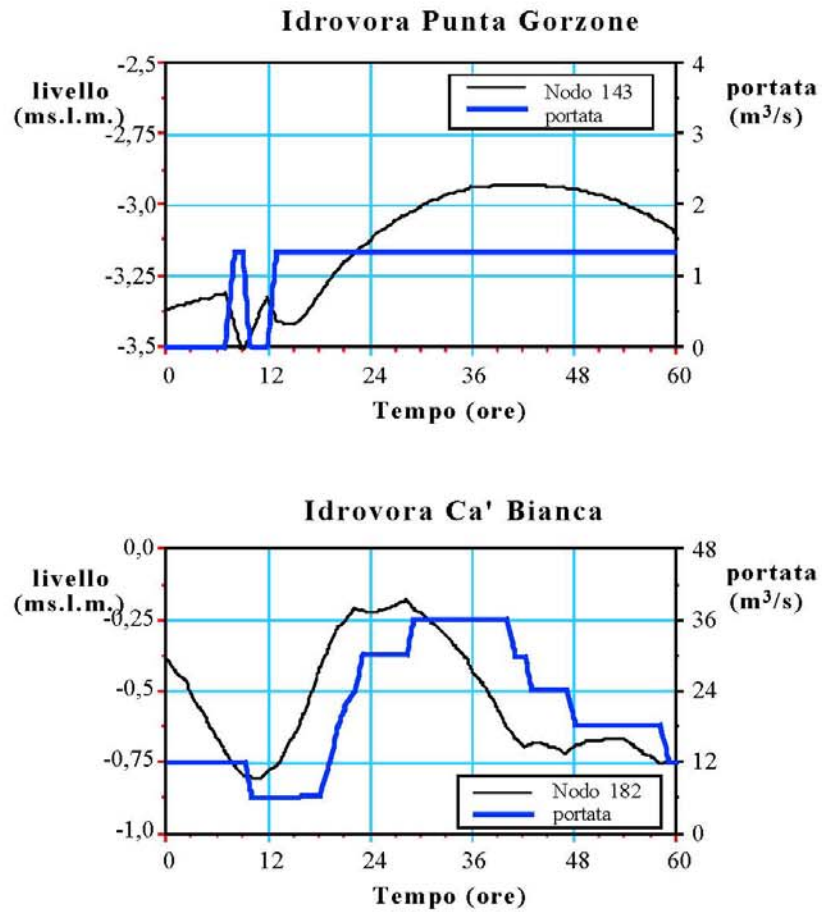


Fig. 10.8 - Andamento dei livelli nei nodi di monte delle idrovore Punta Gorzone e Ca' Bianca, e corrispondente andamento della portata fluente nel tratto terminale della relativa rete di scolo.

10.3.2 - Simulazione degli effetti di un'interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca

Con la seconda simulazione si è voluto esaminare il caso in cui, nel corso dello stesso evento di piena descritto nel paragrafo precedente, per qualche ragione si verifichi l'improvvisa interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca. Questa eventualità si potrebbe verosimilmente presentare nel caso di un guasto oppure, come è già avvenuto in passato, nel caso in cui i livelli idrometrici in Laguna di Venezia siano così elevati da impedire il deflusso delle portate sollevate dall'idrovora attraverso la botte a sifone.

La simulazione effettuata prevede l'arresto del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca nell'istante di colmo dell'idrogramma entrante, che si verifica dopo 25 ore dall'inizio della simulazione. A partire da questo istante si è ipotizzato che le idrovore che scaricano nel Canale dei Cuori continuino a funzionare per 1 ora, e successivamente si blocchino anch'esse. Ne consegue che, a partire dall'istante $T=26.0$ ore il canale dei Cuori continua a ricevere gli apporti dal bacino di monte, senza poterli scaricare, e questo causa il progressivo innalzamento del livello fino al superamento degli argini. Si verifica contemporaneamente che tutti i bacini minori vengono, in varia misura, allagati, a causa dell'interruzione del funzionamento degli impianti di sollevamento.

Secondo i risultati della simulazione la tracimazione del canale dei Cuori inizia approssimativamente all'istante $T=28.0$ ore, quando i livelli superano all'incirca la quota di 0.0 m s.l.m., che corrisponde alle quote arginali del Canale dei Cuori nelle zone in cui queste sono più depresse. Le acque iniziano ad esondare da un punto dell'argine destro nel tratto terminale del collettore, situato poco a valle dell'idrovora Zennare. La figura 10.6 rappresenta la zona critica del collettore all'istante $T=33.5$ ore, quando il flusso che sormonta l'argine risulta ormai molto evidente. A questo punto infatti la portata proveniente da monte esce quasi completamente dal punto di tracimazione, riversandosi all'esterno. Parte delle acque esondate seguono i percorsi preferenziali costituiti dai canali della rete di scolo, nei quali si stabiliscono velocità elevate, dell'ordine di 0.5 m/s, mentre la parte restante si accumula nelle zone di avvallamento adiacenti all'argine, tendendo successivamente ad espandersi secondo la conformazione altimetrica del terreno.

La successiva Fig. 10.7 mostra il campo di velocità e le altezze d'acqua che si instaurano in tutta la parte di valle del bacino all'istante $T=34$ ore. Si individua chiaramente la zona in cui il Canale dei Cuori supera le barriere arginali e la frazione di territorio già allagata dopo circa 6 ore dall'inizio della tracimazione.

La Fig. 10.8 rappresenta lo stato di tutto il bacino alle ore 44, ovvero dopo 16 ore dall'inizio della tracimazione. Sono visibili le aree allagate, e i percorsi seguiti dalle acque esondanti che si spagliano sul terreno. Se si confronta questa figura con la precedente Fig. 10.3, che descrive l'altimetria del territorio, si può osservare come le acque tracimate sia dal Canale dei Cuori che dai canali della rete minore vadano prevalentemente a raccogliersi, in mancanza di una ben definita pendenza del terreno, negli avvallamenti e nelle aree più depresse. In particolare si osserva come i canali di scolo costituiscano, come si è detto, delle vie preferenziali alla propagazione dei fronti di allagamento. In questo caso buona parte delle acque tracimate dal Canale dei Cuori va a riversarsi nei collettori dei due bacini orientali (Bacino Orientale e Punta Gorzone), provocando esondazioni in più punti.

10.3.3 - Simulazione degli effetti di una rottura arginale nel tratto terminale del Canale dei Cuori

Allo scopo di illustrare le possibilità di applicazione del modello matematico, è stata infine simulata l'eventualità di un crollo di un tratto d'argine del Canale dei Cuori. L'evento, del tutto ipotetico, rappresenta d'altra parte un'ipotesi certamente realistica dal momento che attualmente gli argini del corso terminale del Canale versano per lunghi tratti in condizioni precarie. L'evento critico ipotizzato è quello dell'abbassamento di 1 m in modo quasi istantaneo (il fenomeno viene simulato in 5 minuti) della sommità arginale per un tratto della lunghezza di circa 50 m situato in prossimità dell'idrovora Zennare nella zona in cui, nella simulazione descritta nel paragrafo precedente, si è verificata la tracimazione dell'argine. L'evento di piena considerato è il medesimo delle simulazioni precedenti, e il cedimento arginale ha inizio alle ore 26, cioè nell'istante in cui le idrovore sversanti nel Canale dei Cuori cessano di funzionare.

La Fig. 10.9 mostra l'andamento del livello e delle portate fluenti in tre sezioni del Canale dei Cuori scelte rispettivamente in corrispondenza dell'idrovora di Ca' Bianca, dell'idrovora Zennare e dell'idrovora Foresto Centrale (si veda la precedente Fig. 10.8). I diagrammi mostrano chiaramente l'evoluzione del fenomeno: dapprima si verifica una brusca riduzione della portata e un sovrizzo del pelo libero a causa dell'interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca; successivamente il crollo del tratto arginale riduce bruscamente il livello nel canale e genera un richiamo di portata.

Le successive Figg. 10.10 e 10.11 riportano i campi di velocità e di altezza d'acqua calcolati in due istanti successivi al collasso arginale, e mostrano la propagazione dell'onda di sommersione sul terreno. Si può notare come dopo solo 4 ore dal momento del crollo le aree allagate coprano una frazione considerevole del sottobacino Bacino Orientale. Le portate che esondano dal Canale dei Cuori si riversano sul terreno e seguono principalmente le vie preferenziali costituite dalla rete dei canali di scolo. Gli alti livelli idrometrici già presenti in tali canali e la insufficiente portata smaltita dall'idrovora impediscono però il deflusso provocando pertanto l'esondazione nei punti più sfavoriti della rete. Successivamente le acque esondate si estendono anche al bacino Punta Gorzone andando a principalmente a riempire le zone più depresse dove si stabiliscono altezze d'acqua dell'ordine di 0.5 - 0.75 m.

In questo caso viene evidenziata la possibilità di utilizzare il modello matematico per seguire l'evoluzione del fenomeno ed individuare le aree a maggior rischio di allagamento. La possibilità di simulare facilmente situazioni diverse può consentire poi evidentemente di sperimentare l'efficacia di diverse soluzioni progettuali o di diverse strategie di pronto intervento per far fronte ad eventi critici.

Il propagarsi del fronte è governato principalmente, come è noto, dalle caratteristiche geometriche del terreno, ed il modello matematico ad elementi finiti utilizzato in questo studio consente di descrivere in modo accurato tali caratteristiche. Le inevitabili approssimazioni introdotte, che riguardano principalmente la schematizzazione dell'evoluzione del collasso arginale e gli effetti dei termini convettivi delle equazioni del moto sulla dinamica del fenomeno consentono di estendere solo in prima approssimazione la validità dei risultati alle zone immediatamente adiacenti al punto di rottura e agli istanti immediatamente successivi al collasso. Questo d'altra parte non limita il valore della simulazione poichè l'oggetto dell'indagine è essenzialmente l'espansione dell'onda di sommersione, la cui propagazione, alla scala spaziale qui considerata, è principalmente governata dall'orografia del territorio. Le altre caratteristiche importanti nella propagazione del fronte, come la scabrezza superficiale del terreno o la capacità

di infiltrazione del suolo, vanno analizzate con attenzione caso per caso, per consentire di calibrare il modello mediante l'assegnazione del valore numerico più appropriato ai relativi parametri.

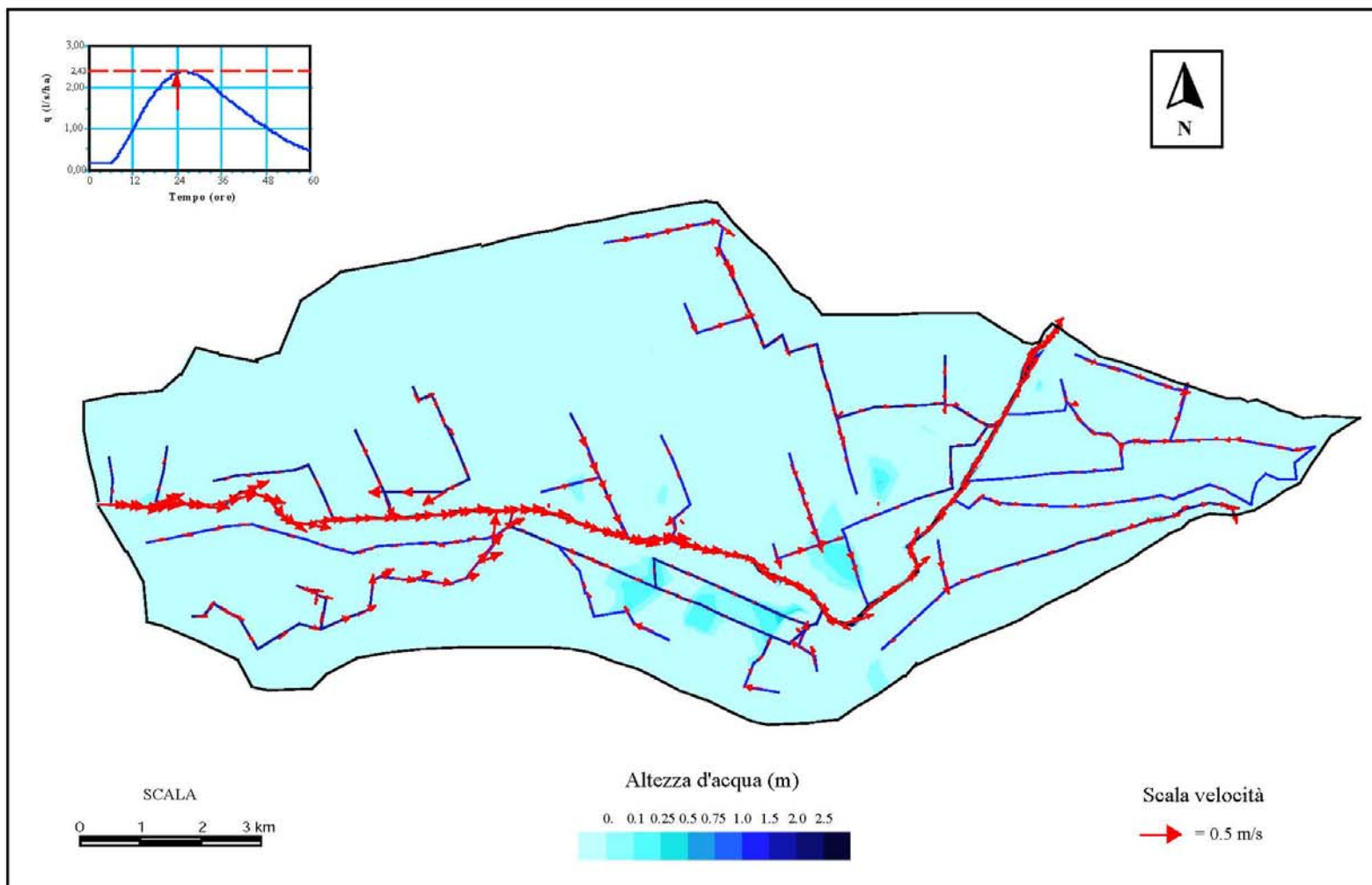


Fig. 10.9 - Campo di velocità nella rete del bacino del Canale dei Cuori calcolato con il modello matematico uni-bidimensionale. Istante $T = 24.00$ ore.

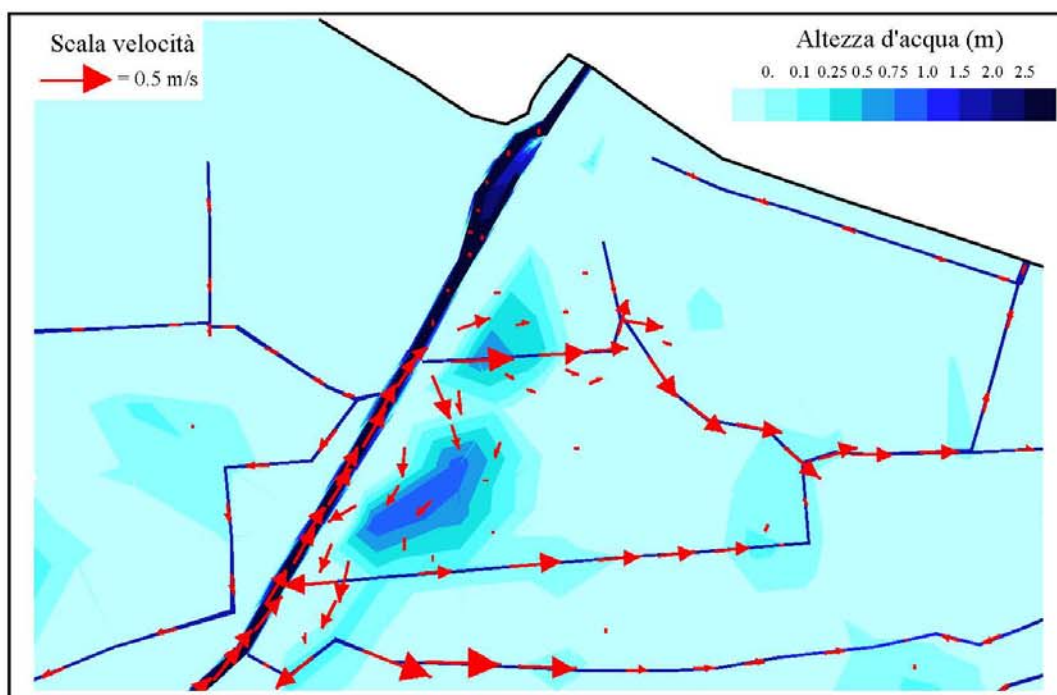


Fig. 10.10 - Particolare della distribuzione delle velocità e delle altezze d'acqua nella zona in cui si verifica l'esondazione del canale dei Cuori nell'ipotesi di un'interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca. Istante T=33.5 ore.

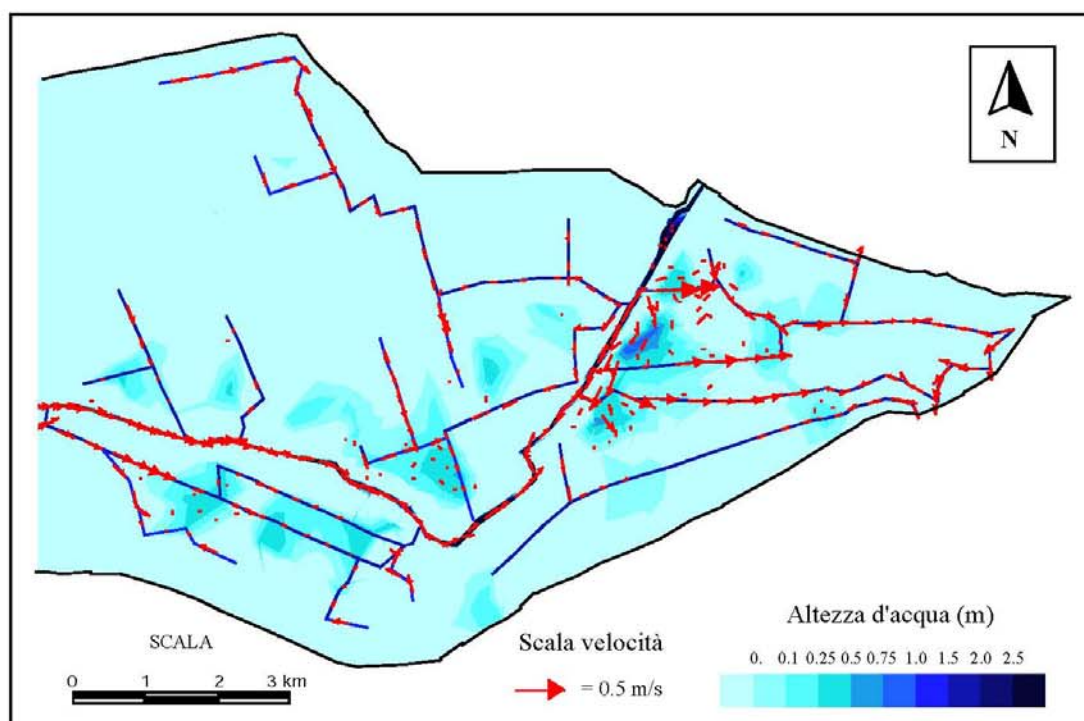


Fig. 10.11 - Distribuzione delle velocità e delle altezze d'acqua nella parte terminale del bacino del Canale dei Cuori nell'ipotesi di un'interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca Istante T=34 ore

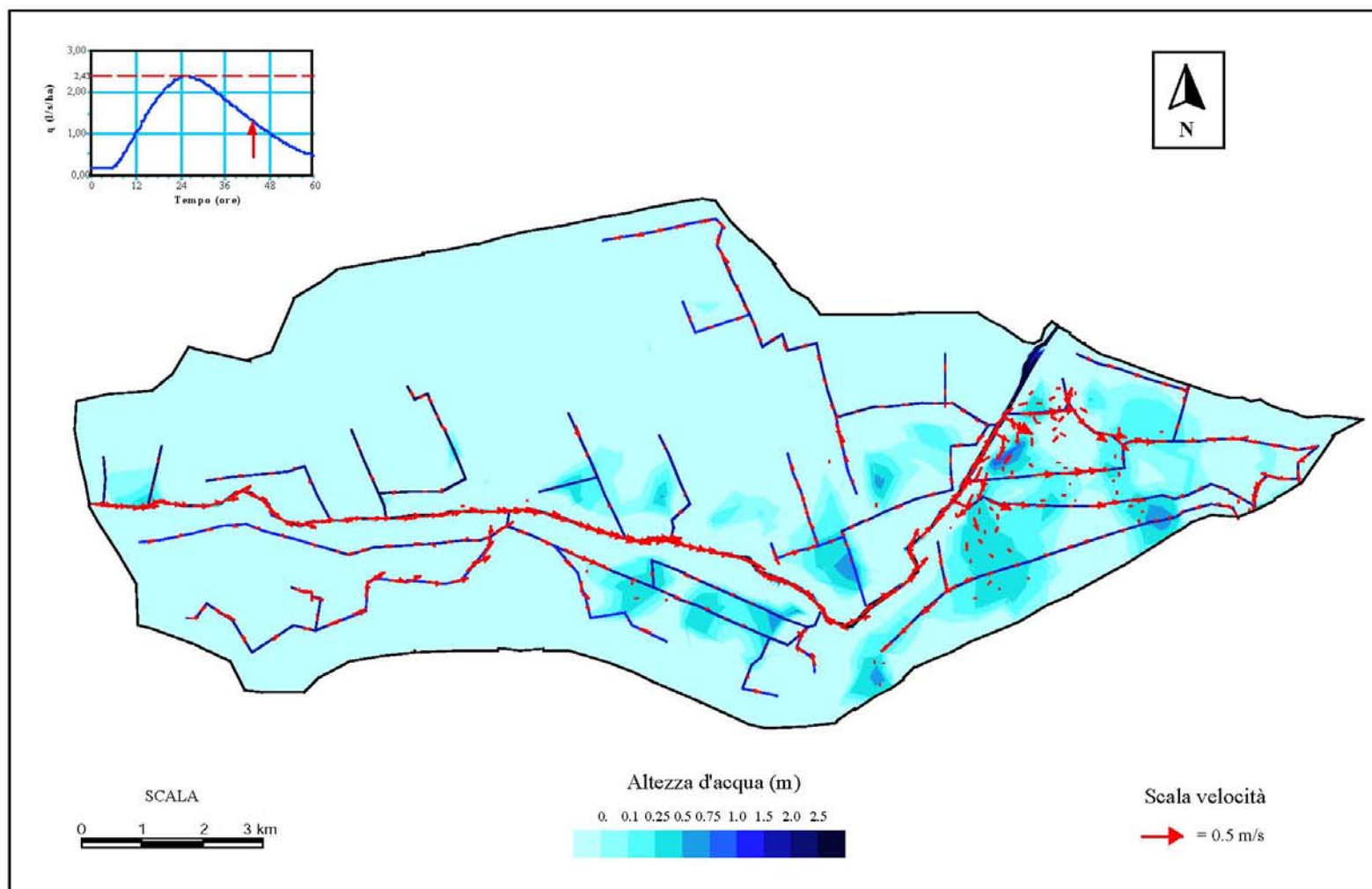


Fig. 10.12 - Campo di velocità nella rete del bacino del Canale dei Cuori calcolato con il modello matematico uni-bidimensionale nell'ipotesi di un'interruzione del funzionamento dell'idrovora di Ca' Bianca. Istante $T = 44$ ore.

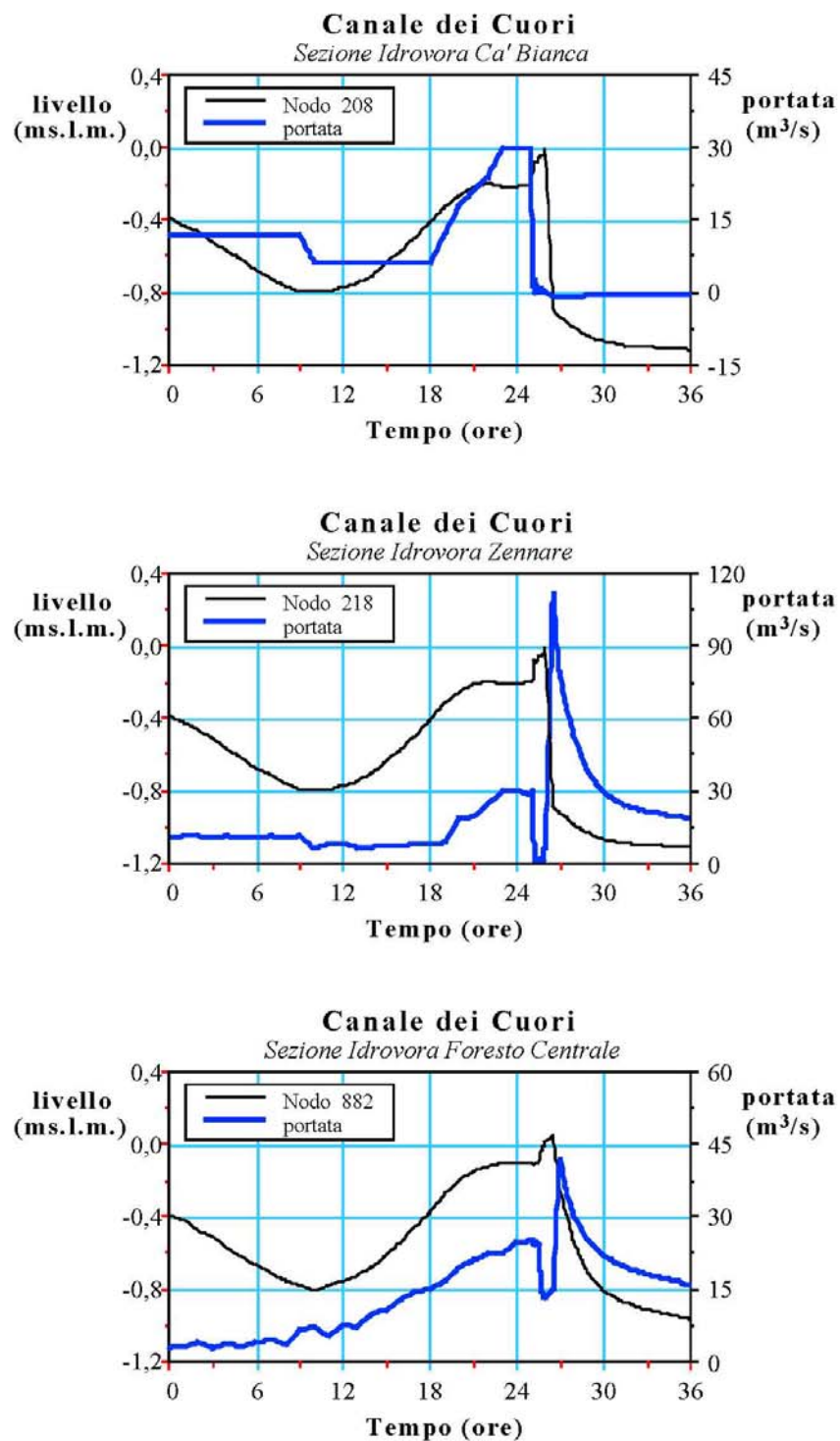


Fig. 10.13 - Andamento dei livelli e delle portate in alcune sezioni del Canale dei Cuori nella simulazione che prevede l'interruzione del funzionamento degli impianti idrovori e il cedimento di un tratto arginale in prossimità dell'idrovora Zennare.

10.4 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'applicazione del modello matematico bidimensionale per lo studio della propagazione delle piene e delle loro eventuali esondazioni nel bacino del Canale dei Cuori ha dimostrato la possibilità di simulare negli aspetti generali e locali l'evoluzione di un evento di piena in un bacino di bonifica, il cui funzionamento è reso complesso dalla geometria della rete idrografica superficiale e dalla presenza di numerosi impianti per il sollevamento meccanico delle portate affluenti al collettore principale.

L'indagine ha, innanzitutto, consentito di illustrare la dinamica globale dei deflussi lungo la rete nel corso di un evento di piena. Lo schema di calcolo impiegato, che utilizza in modo accoppiato elementi bidimensionali per la schematizzazione dei corsi d'acqua principali, delle aree allagabili e dei rilevati, e elementi unidimensionali per descrivere anche i più piccoli canali di scolo, si è dimostrato particolarmente adatto agli scopi dell'indagine e di semplice implementazione.

Una prima simulazione numerica ha esaminato il funzionamento del bacino per un evento di piena usuale, che non produce nel bacino e nella rete che lo drena condizioni di criticità. Per queste situazioni il modello permette di visualizzare, istante per istante, la distribuzione dei livelli idrometrici e della velocità del flusso nel collettore principale e nei canali secondari. L'applicazione considerata consente inoltre di controllare in modo globale il funzionamento di tutte le reti secondarie dei sottobacini e degli impianti idrovori durante l'evolversi della piena, evidenziando in particolare l'esistenza eventuale di collettori insufficienti, dai quali l'acqua può tracimare nel corso dell'evento allagando le aree adiacenti.

Le simulazioni successive hanno riguardato l'esame di situazioni critiche particolari, quali l'improvviso arresto dell'idrovora principale di Ca' Bianca, che scarica in Laguna di Venezia le acque drenate, e il parziale cedimento di un tratto d'argine del Canale dei Cuori.

Il modello proposto si dimostra utile sia in fase di previsione dei fenomeni, consentendo la stima degli effetti dell'evento critico, sia in fase di gestione del sistema delle idrovore facilitando, data la possibilità di simulare rapidamente diversi scenari operativi, l'individuazione della migliore strategia per affrontare situazioni di emergenza.

L'analisi condotta potrebbe essere estesa all'intero bacino del Canale dei Cuori o anche a zone più ampie, esaminando le conseguenze dell'eventuale cedimento della Botte delle Trezze o gli effetti di cedimenti arginali del vicino Gorzone o anche dell'Adige, i cui livelli di piena dominano ampiamente vaste porzioni del territorio provinciale.

Estendere il tipo di indagine proposta agli effetti delle esondazioni di questi o di altri importanti corsi d'acqua potrebbe essere particolarmente significativo per i problemi della sicurezza idraulica e per quanto in modo specifico attiene alle finalità della Protezione Civile, in un territorio come quello della Provincia di Venezia vulnerabile e perennemente soggetto al rischio idraulico.

11 APPLICAZIONE AL TERRITORIO COMPRESO TRA IL F. ADIGE E IL SISTEMA BRENTA - BACCHIGLIONE

11.1 Caratteri idraulici del territorio

La modellazione comprende la parte meridionale del territorio della Provincia di Venezia situato a Sud della Laguna (Fig. 11.1), fino al limite del corso del F. Adige.

La superficie considerata è pari a circa 275 km². A Nord i limiti del bacino seguono la linea della conterminazione lagunare, l'argine sinistro del F. Brenta e il limite della terraferma a ridosso dell'isola di Chioggia; a Est il contorno è fissato in corrispondenza della linea di costa; a Sud è limitato dall'argine sinistro del F. Adige; a Ovest e a Nord Ovest il limite si estende anche al di fuori del territorio provinciale, in provincia di Padova, seguendo, in un primo tratto, la strada provinciale S.P. n. 3 che collega i paesi di Agna e di Arre, poi il percorso del canale Scolo Mestrina e successivamente l'argine destro del C. Rebosola, per riportarsi, infine, ancora sulla S.P. n. 104 fino alla sua intersezione con la S.S. Romea, circa 2 km a SE di Codevigo.

Una porzione dell'area in esame, costituita dai territori adiacenti ai tratti terminali del Canale dei Cuori e del Gorzone e comprendente tutti i sottobacini afferenti a questi due corsi d'acqua, per una superficie complessiva di 155 km², è stata oggetto di due studi precedenti [4] e [5] condotti utilizzando lo stesso modello matematico uni-bidimensionale. La presente indagine è, pertanto, il completamento di tali studi, poichè estende la modellizzazione in modo da comprendere tutta la parte meridionale del territorio provinciale fino al F. Adige.

In particolare, rispetto alle indagini precedenti, l'area modellata è stata estesa in modo da includere anche le porzioni di territorio provinciale potenzialmente allagabili da eventuali esondazioni del Brenta o del Bacchiglione nel loro tratto terminale, comprendendo quindi le campagne in destra Bacchiglione, fino al C. Rebosola e quelle in sinistra Brenta nella zona di Valli. Sono stati presi in considerazione inoltre i territori prossimi al mare situati ad Est della S. S. Romea nel bacino di S. Anna, nonché quelli di Brondolo e Sottomarina. E' stata inclusa anche una modesta area a Ovest verso Agna, per estendere il dominio di calcolo fino al limite del confine provinciale.

Nel seguito si descrivono sinteticamente i caratteri idraulici principali del territorio oggetto di indagine.

Il bacino del Canale dei Cuori è costituito da numerosi bacini minori in cui il drenaggio delle acque avviene a scolo meccanico a mezzo di una serie di impianti idrovori che scaricano nel collettore principale. L'intero bacino è di competenza del Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione.

La situazione attuale del tratto terminale del Canale dei Cuori risulta alquanto precaria in concomitanza con eventi di piena anche non eccezionali. Eventi caratterizzati da tempi di ritorno modesti sono sufficienti per mettere in crisi l'asta terminale del canale, le cui sommità arginali sono in alcune zone poste a quote inferiori a quelle necessarie per garantire un franco adeguato. Oltre a ciò la capacità di smaltimento delle acque dell'impianto di Ca' Bianca può risultare insufficiente se, come spesso accade, la piena si accompagna a stati idrometrici elevati nel corpo ricettore (la laguna di Venezia), che rigurgitano le acque scaricate rendendo difficile o a volte impossibile il funzionamento delle idrovore.

L'esondazione del Canale dei Cuori è pertanto un evento probabile e può portare, come le simulazioni a suo tempo condotte con il modello [4] hanno evidenziato, all'allagamento di ampie zone di campagna nei territori del Bacino Orientale e del Bacino di Punta Gorzone.

Il territorio a Sud del Gorzone è a sua volta in gran parte soggiacente al livello medio del mare, con quote che, in alcune zone, sono inferiori anche di 3.5 m al livello medio del mare. In quest'area lo smaltimento delle acque meteoriche è affidato ad una rete di canali di bonifica di competenza del Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canal Bianco. Il territorio è diviso in tre bacini principali che scaricano i loro contributi di piena per mezzo di canali di bonifica che confluiscono all'impianto idrovoro S. Pietro, dove tre diverse stazioni di sollevamento, della portata complessiva massima di circa 14 m³/s, trasferiscono le acque nel Canale di Valle.

In generale, come è stato messo in luce nello studio [5], la rete di bonifica di quest'area risulta adeguata per affrontare anche situazioni critiche generate da eventi meteorici particolarmente gravosi. I canali di bonifica e l'impianto idrovoro sono in grado di smaltire le portate di piena e, almeno nel recente passato, non si sono registrati eventi che hanno creato particolari problemi rispetto a quelli che normalmente si presentano nella gestione dell'emergenza idraulica.

Ben più pesanti potrebbero essere, invece, come è emerso dai risultati delle simulazioni condotte nello studio [5], le conseguenze di situazioni critiche che dovessero verificarsi nel tratto terminale del Gorzone in cui piene particolarmente gravose potrebbero dare luogo a tracimazione delle arginature o addirittura a cedimenti del corpo arginale.

Il funzionamento del Gorzone in condizioni di piena è controllato, almeno nel tratto di valle, da quanto avviene contemporaneamente nel Brenta, nel quale il Gorzone va a confluire a Brondolo. I livelli nel Brenta alla confluenza sono a loro volta determinati sia dalle portate di piena in arrivo da monte, sia dall'andamento del livello di marea alla foce.

Nello studio già ricordato [5] l'analisi del funzionamento del tratto terminale del Gorzone è stata effettuata assumendo come riferimento i dati contenuti nell'indagine promossa dall'Autorità di Bacino ai fini della valutazione delle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Brenta-Bacchiglione [10], assegnando come condizioni al contorno per la sezione terminale del Gorzone a Brondolo i risultati dei calcoli relativi al fiume Brenta. E' emerso che in occasione di eventi con tempo di ritorno dell'ordine di 50 anni nel Brenta - Bacchiglione, i livelli idrometrici che si stabiliscono alla confluenza sono tali da mettere in crisi le arginature del tratto terminale del Gorzone, con diffuse tracimazioni e possibilità di rotte con gravissime conseguenze.

Nello stesso studio erano stati, tuttavia, evidenziati i limiti dell'analisi condotta, poichè le condizioni al contorno assunte per il fiume Brenta derivavano da calcoli eseguiti senza tener conto degli effetti delle tracimazioni. Poichè gli eventi considerati erano invece verosimilmente tali da mettere in crisi la parte terminale dello stesso fiume Brenta a valle di Codevigo, la simulazione numerica poteva risultare poco rispondente alla realtà.

Nella presente indagine l'estensione del dominio di calcolo anche ai tratti terminali del Brenta e del Bacchiglione consente di fatto di tenere correttamente in conto nelle simulazioni delle possibili esondazioni nei due fiumi maggiori.

Oltre che ai tratti terminali del Brenta e del Bacchiglione il dominio di calcolo considerato comprende due ulteriori porzioni di territorio situate in sinistra Brenta, incluse nei limiti del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta (Fig. 11.1). La prima, più a monte, è delimitata da una parte dalle arginature del Brenta, dall'altra dall'argine della conterminazione lagunare, ed è attraversata dal corso arginato del C. Taglio Novissimo. Questo territorio, posto interamente a quote inferiori al livello medio del mare, è costituito da tre sottobacini di bonifica ciascuno facente capo ad un impianto idrovoro (Bernio, Trezze e Fogolana), la cui gestione è affidata al Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta.

La seconda, situata anch'essa entro i confini del Consorzio Bacchiglione - Brenta, è costituita dalle campagne che fiancheggiano in sinistra il corso terminale del Brenta nelle immediate

adiacenze della foce, in prossimità di Brondolo e di Sottomarina, anch'essa di competenza del Consorzio Bacchiglione Brenta.

In entrambe queste aree le possibili situazioni di rischio idraulico sono legate principalmente alle possibili esondazioni del Brenta in occasione di piene eccezionalmente gravi. Soprattutto nel primo caso, inoltre, il rischio di allagamenti è legato anche a possibili insufficienze della rete minore, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.

Nella parte orientale dell'area esaminata è stata inserita un'ulteriore porzione di territorio compresa tra il tratto terminale del F. Adige, quello del F. Brenta, la S.S. Romea e la spiaggia di Isola Verde. Si tratta di campagne prevalentemente coltivate ad orti nei territori di S. Anna e Cà Lino, drenate da una rete di bonifica gestita dal Consorzio di Bonifica Delta Po Adige che fa capo, tramite un impianto idrovoro, al C. Busiola.

Anche per questo territorio i rischi più concreti di gravi alluvioni stanno negli eventuali stati di piena eccezionali che possono verificarsi lungo il corso terminale del Brenta, soprattutto in concomitanza con livelli idometrici particolarmente sostenuti alla foce per effetto della marea. Tali eventi possono da una parte mettere in crisi le arginature stesse del Brenta, con pericolo di tracimazioni o rotte, dall'altra sostenere i livelli idrometrici nel C. Busiola, che si collega con il Brenta a Brondolo, fino a determinare possibili condizioni critiche dove le quote arginali di questo canale sono più depresse.

Infine, come si è detto, il dominio di calcolo della presente indagine è stato esteso nella sua parte occidentale per considerare tutti i territori inclusi entro i limiti del confine provinciale. Rispetto alle indagini precedenti, in questo caso sono state estese verso monte per circa 3 km le schematizzazioni del C. Gorzone e del C. dei Cuori, ed è stato inserito inoltre il tratto terminale del canale Fossa Monselesana, affluente del C. dei Cuori, per un'estesa di circa 4 km.

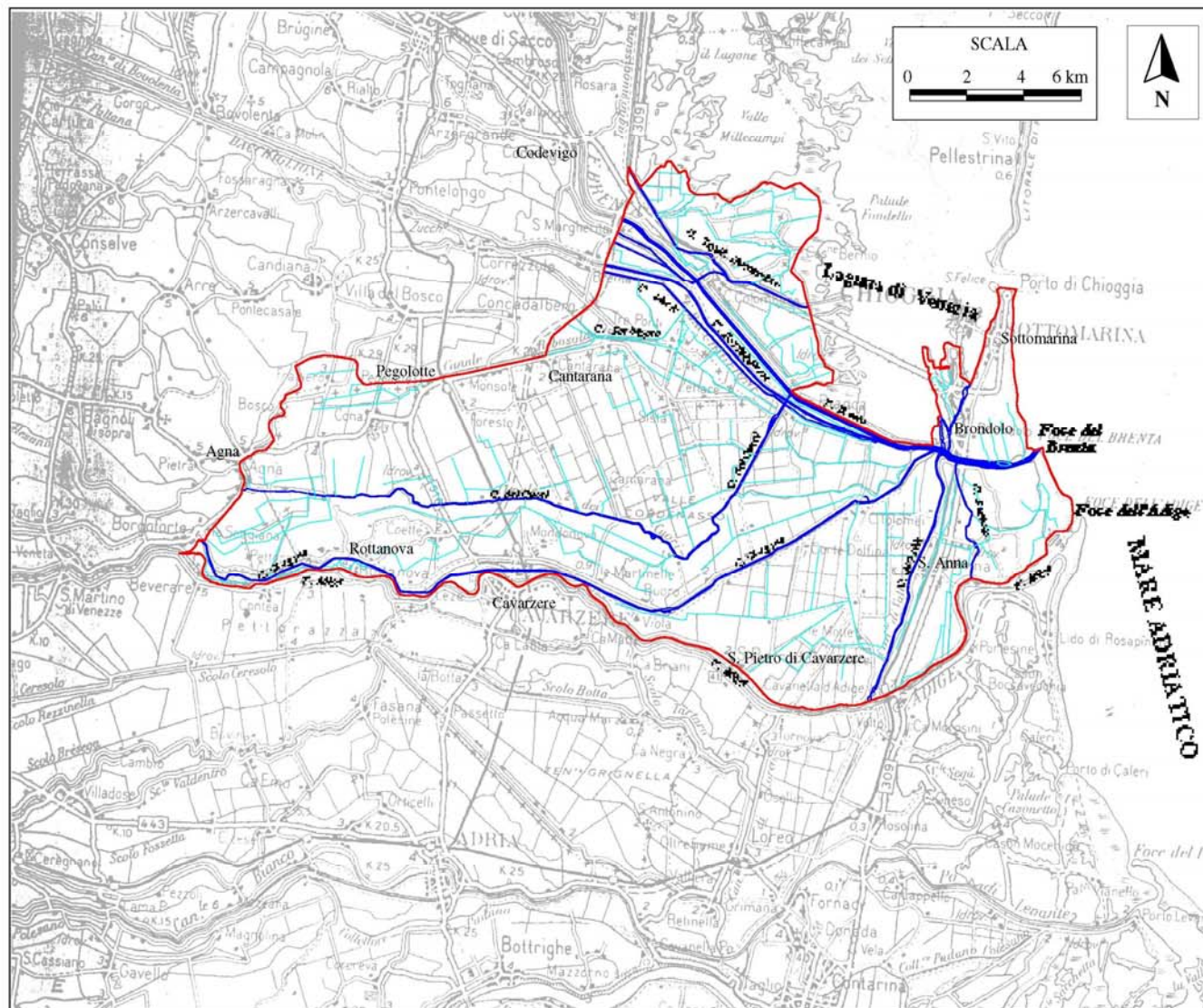


Fig.11.1 - Corografia del territorio considerato nell'indagine tra il F. Adige e Brenta - Bacchiglione.

11.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

In questo caso, poichè l'indagine costituisce, come si è detto, un'estensione degli studi precedenti [4] e [5], che riguardavano i territori potenzialmente allagabili dal C. dei Cuori e dal C. Gorzone, la schematizzazione del territorio è stata ottenuta ampliando il dominio di calcolo considerato in tali studi in modo da includere le ulteriori porzioni di territorio e gli ulteriori corsi d'acqua da esaminare.

In generale la schematizzazione del territorio con il modello matematico uni-bidimensionale è stata messa a punto utilizzando la medesima metodologia impiegata nei casi precedenti, basata sulla costruzione di un reticolo di elementi bidimensionali per descrivere la morfologia del territorio, ai quali è sovrapposta una rete di canali unidimensionali per descrivere la rete idrografica minore.

Con elementi bidimensionali sono state rappresentate le caratteristiche geometriche dei corsi d'acqua di maggiori dimensioni, quali Brenta, Bacchiglione, C. Gorzone, C. dei Cuori e C. di Valle.

Di questi corsi d'acqua, le arginature sono state descritte utilizzando tronchi speciali di tipo "soglia sfiorante" in modo da poter eventualmente simulare in modo realistico il sormonto delle arginature o eventuali rotte.

Tronchi soglia sono stati utilizzati anche per descrivere le arginature dei corsi d'acqua principali della rete minore, descritti con elementi unidimensionali. Essi sono la Fossa Monselesana nella parte occidentale, il C. Morto, il C. di Scarico - C. Montalbano, lo Scolo Altipiano e il C. Taglio Novissimo nella parte settentrionale, il C. Busiola e il C. Adigetto nella parte orientale.

La base cartografica per le elaborazioni è costituita, come nei casi precedenti, dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Gli elaborati della Carta Tecnica, in formato raster, sono stati utilizzati in particolare per digitalizzare il tracciato degli elementi rilevanti ai fini dei calcoli e cioè i corsi d'acqua, i rilevati stradali e gli eventuali altri elementi morfologici che, potenzialmente, possono influire sulle modalità con cui avviene lo spagliamento delle acque sul territorio in caso di alluvione. Dalla stessa base CTR in scala 1:10.000 sono stati digitalizzati, inoltre, i limiti dei centri abitati principali, in modo da poter evidenziare gli effetti dei fenomeni di allagamento con riferimento agli insediamenti.

L'alimetria del territorio è stata ricostruita utilizzando gli elaborati della Carta Tecnica Regionale, sia in formato raster che in formato numerico, resi disponibili dall'Amministrazione Provinciale.

La seguente Fig. 11.2 riporta schematicamente gli elementi geografici, morfologici ed idraulici utilizzati per la modellizzazione del comprensorio. Tutti gli elementi morfologici sono riportati anche nell'allegato elaborato Tav. 7 alla scala 1:50.000.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle sezioni dei corsi d'acqua principali, si è resa necessaria una ricerca presso gli enti competenti per raccogliere ed organizzare gli elementi informativi disponibili.

La presente indagine si propone di indagare principalmente sui possibili rischi di allagamento conseguenti ad insufficienze dei tratti terminali del Brenta e del Bacchiglione, e per questo motivo è stato necessario schematizzare con la massima cura la geometria degli alvei di questi corsi d'acqua. Allo scopo sono stati utilizzati i rilievi eseguiti a cura dell'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione nell'ambito dello studio [16] "Indagine sulle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Brenta-

Bacchiglione ai fini della difesa idraulica e valutazione dell'efficacia di interventi di moderazione delle piene", del 1994. Sono state prese in esame in particolare le sezioni del Brenta e del Bacchiglione nel tratto di interesse, le caratteristiche principali delle quali sono illustrate nelle tabelle 11.1 e 11.2 (distanza progressiva, quota di thalweg, quote delle sommità arginali in destra e in sinistra).

Tali dati, nel caso del tratto terminale del Bacchiglione costituiscono una base di riferimento sufficientemente aggiornata e completa poichè sono stati ottenuti con una campagna di rilievi topografici finalizzati a completare e ad integrare i dati disponibili proprio ai fini dello studio idrodinamico con il modello matematico unidimensionale. Nel caso del Brenta, invece, le sezioni riportate sono quelle del rilievo effettuato nel 1959 a cura del Magistrato alle Acque - Nucleo Operativo di Padova, integrate da dati raccolti nella seconda metà degli anni '80 mediante una campagna di rilievi speditivi. Data la loro vetustà, si ritiene pertanto, come è del resto sottolineato anche nello studio dell'Autorità di Bacino [16], che i dati geometrici sulle sezioni del Brenta soffrano di alcune incertezze, soprattutto sulle quote delle sommità arginali, e che sarebbe auspicabile che fosse realizzata una campagna di rilievi integrativi per aggiornare le informazioni disponibili. Ciò anche sulla base dei risultati dei calcoli illustrati nei paragrafi seguenti, che dimostrano come le quote delle sommità arginali del tratto terminale del Brenta risultino in più punti insufficienti per contenere piene gravose come quelle qui considerate.

Anche la schematizzazione del tratto terminale del C. Gorzone è stata effettuata, (nella fase precedente della presente indagine, descritta in [5]) sulla base dei dati contenuti nello stesso studio promosso dall'Autorità di Bacino [16].

Per realizzare la schematizzazione dei corsi d'acqua con il modello uni-bidimensionale impiegato in questo caso si è fatto riferimento all'insieme di tutti questi dati, ricorrendo ad interpolazione lineare per assegnare i dati mancanti.

I parametri di resistenza del fondo, che nel modello matematico sono inseriti come coefficienti della formula di Strickler, sono stati scelti dopo alcune simulazioni preliminari. In particolare, come viene descritto nel successivo paragrafo 11.3, è stata condotta una simulazione di taratura prendendo a riferimento l'evento del 4-7 ottobre 1992, per valutare i più opportuni valori dei coefficienti di scabrezza da attribuire agli alvei di Brenta e Bacchiglione. Per tale evento sono infatti disponibili le registrazioni dei livelli idrometrici all'altezza di Ca' Bianca sia per il Brenta che per il Bacchiglione, ed è possibile fare riferimento anche ai risultati delle simulazioni condotte con il modello unidimensionale nell'ambito dello stesso studio [16].

Per gli altri corsi d'acqua principali presenti sul territorio (C. Gorzone, C. dei Cuori), i quali hanno tutti un corso sostanzialmente rettilineo e canalizzato entro arginature, in conformità a quanto assunto precedentemente, si è adottato un coefficiente di scabrezza secondo Strickler pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le zone d'alveo e di $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le eventuali zone di espansione golenale.

Per i rimanenti corsi d'acqua principali, in analogia con le indagini svolte nell'ambito del presente studio, si sono adottati coefficienti di Strickler variabili tra 25 e $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

E' comunque da sottolineare ancora una volta che sarebbe auspicabile poter disporre di una base di dati sperimentali ben più consistente di quella esistente in questo caso, costituita da misure contemporanee di livello e di portata in più sezioni significative, ai fini di valutare con maggiore accuratezza i coefficienti di scabrezza da assegnare ai corsi d'acqua principali. Tali coefficienti assumono infatti un ruolo rilevante nell'analisi modellistica, poichè dai valori ad essi assegnati dipendono sostanzialmente i livelli idrometrici massimi che si stabiliscono al passaggio dell'onda di piena, e quindi le valutazioni sulla sufficienza delle arginature e le previsioni su possibili tracimazioni o rotte delle stesse.

Per descrivere gli effetti delle resistenze idrauliche nella rete idrografica minore e sul territorio adiacente potenzialmente allagabile, dove ben difficilmente è possibile disporre di elementi per effettuare una taratura del modello, sulla base dei buoni risultati ottenuti in esperienze analoghe e delle indagini condotte nell'ambito di questo stesso studio e descritte nei paragrafi precedenti, si sono adottati valori pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali, a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi in rilevato (strade, ferrovie, rilevati) e a $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le restanti parti del territorio (campagne, centri abitati).

Per quanto riguarda la rete di bonifica, i dati necessari per la schematizzazione dei canali sono stati forniti, come si è detto, dai vari consorzi di bonifica competenti.

Rimandando ai precedenti studi [4] e [5] per quanto riguarda la schematizzazione dei canali dei bacini del C. dei Cuori e del C. Gorzone, per i quali i dati sono stati forniti dal Consorzio Adige - Bacchiglione e dal Consorzio Polesine Adige Canal Bianco, in questo caso si è fatto riferimento al Consorzio Bacchiglione Brenta per i territori adiacenti al Brenta e al Bacchiglione, e al Consorzio Delta Po Adige per quanto riguarda i territori ad Est del Canale di Valle nel bacino di S. Anna.

Ancora dal materiale messo a disposizione dal Consorzio Adige Bacchiglione sono stati tratti gli elementi per schematizzare le porzioni di territorio aggiunte nella parte occidentale (bacino Foresto Superiore e parte del bacino Rebosola) e in quella settentrionale del comprensorio considerato (bacino di S. Silvestro).

Di alcuni tratti di canale non è stato possibile reperire alcun attendibile dato di riferimento. Per essi la schematizzazione è stata effettuata in prima approssimazione utilizzando gli elementi ricavati dalla CTR.

Sempre dai medesimi Consorzi di Bonifica sono state fornite le caratteristiche di funzionamento degli impianti idrovori principali presenti sul territorio, che sono stati inseriti nella schematizzazione in base agli elementi sintetizzati nella seguente tabella 11.3.

Complessivamente le idrovore considerate sono 27. Dai dati riportati in tabella 6.3 risulta che la somma delle portate massime che esse sono in grado di smaltire è pari a circa $110 \text{ m}^3/\text{s}$.

La Fig. 11.3 rappresenta il reticolo di calcolo ad elementi finiti uni-bidimensionali messo a punto per il modello matematico.

Complessivamente esso è costituito da circa 6000 nodi, 9000 elementi bidimensionali triangolari, 1000 elementi unidimensionali e 1000 tronchi speciali. Esso costituisce pertanto una considerevole estensione di quello precedentemente utilizzato nello studio [5], che era formato da circa 2600 nodi, 4200 elementi bidimensionali, 400 canali unidimensionali e 250 tronchi speciali.

Per quanto riguarda questi ultimi dati, in questo caso le simulazioni hanno preso in considerazione eventi di piena che interessano i soli fiumi maggiori Brenta, Bacchiglione e Gorzone, senza considerare il contributo dei collettori della bonifica che sono alimentati dalle piogge dirette al suolo sul territorio. Infatti, data la ben diversa estensione dei bacini idrografici dei fiumi maggiori rispetto a quelle dei bacini di bonifica, gli eventi meteorici che generano le piene più gravose per i due sistemi sono diversi o sono sfasati nel tempo.

L'interesse maggiore per lo scolo dei bacini della bonifica è legato non tanto al passaggio delle piene nei fiumi maggiori quanto alla concomitanza dei livelli idrometrici sostenuti nei corpi idrici ricettori (Laguna di Venezia e Brenta - Bacchiglione) con gli eventi di piena. Nel caso del territorio compreso tra Adige e Brenta-Bacchiglione, indagini sui possibili allagamenti dovuti alle piene nei bacini della bonifica, considerando in particolare possibili stati idrometrici elevati nei corpi idrici ricettori sono state oggetto dei più volte ricordati studi precedentemente svolti per conto della provincia di Venezia [4] e [5].

Le modalità con cui si è proceduto alla valutazione delle condizioni al contorno adottate nelle simulazioni sono descritte nel paragrafo seguente.

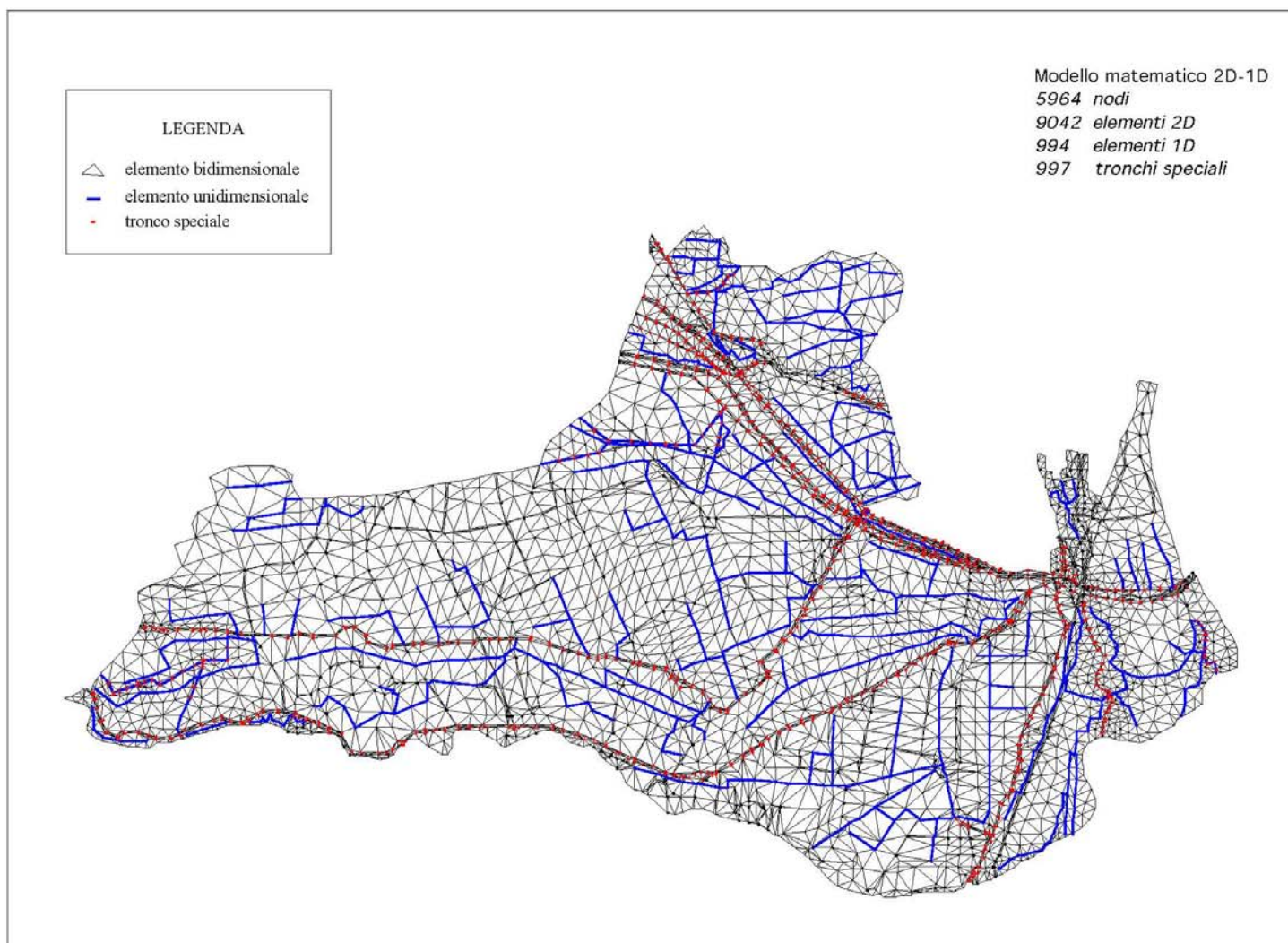


Fig. 11.3 - Modello matematico uni-bidimensionale tra il F. Adige e Brenta - Bacchiglione.
Schematizzazione del territorio con il reticolo di calcolo.

11.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno principali per le simulazioni consistono, nel caso in esame, nell'assegnazione dell'andamento nel tempo della portata in corrispondenza delle sezioni di monte dei corsi d'acqua principali (Brenta, Bacchiglione, Gorzone) e nell'andamento nel tempo del livello idrometrico alla foce del Brenta in mare.

Nelle simulazioni eseguite, descritte nel dettaglio nei paragrafi seguenti, si sono considerate diverse ipotesi su tali andamenti, allo scopo in primo luogo di effettuare una sia pur preliminare taratura del modello con riferimento ai dati sperimentali disponibili, in secondo luogo di simulare la propagazione nel sistema di eventi di piena caratterizzati da diversi tempi di ritorno.

I dati necessari per tali finalità sono stati reperiti nel già ricordato studio sulle portate massime convogliabili dal Brenta Bacchiglione eseguito per conto dell'Autorità di Bacino [16], che è stato assunto come riferimento principale per le presenti indagini.

Per quanto riguarda gli altri corsi d'acqua presenti nel sistema idrografico considerato, per essi le portate fluenti sono state valutate in via ipotetica sulla base degli elementi conoscitivi raccolti, in modo da simulare in modo verosimile degli stati idrometrici "ordinari" e non di piena, dato che, come si è più volte ricordato, le simulazioni sono volte all'esame delle condizioni critiche indotte dai fiumi maggiori.

In particolare per quanto riguarda la rete di bonifica, si è ipotizzato che i canali siano parzialmente riempiti, con un franco rispetto alle sommità spondali mediamente dell'ordine di 1 m, e che la portata in essi fluente sia nulla. In tal modo si è voluto simulare una situazione in cui il contributo delle piogge dirette al suolo sul territorio considerato non sia significativo.

Per il C. dei Cuori si è ipotizzato che in esso fluisca una portata costante pari a $20 \text{ m}^3/\text{s}$, che corrisponde approssimativamente alla metà della portata massima che può essere sollevata dall'impianto di Ca' Bianca.

Tale contributo è stato attribuito per $15 \text{ m}^3/\text{s}$ alla Fossa Monselesana, che raccoglie i deflussi di un bacino di monte di oltre 8000 ettari che scola a gravità, oltre al contributo di alcuni bacini minori a scolo meccanico, e per $5 \text{ m}^3/\text{s}$ al C. dei Cuori stesso, che trae origine proprio sul limite occidentale del comprensorio considerato in prossimità di Agna dal contributo degli impianti idrovori Sorgaglia e Vitella che drenano i bacini omonimi.

Per quanto riguarda i collettori che servono i territori situati tra il bacino del C. dei Cuori e il F. Bacchiglione, che confluiscono nel C. Morto, si è ipotizzato che in essi complessivamente fluisca una portata di $18 \text{ m}^3/\text{s}$, che secondo le informazioni raccolte corrisponde approssimativamente alla metà della portata di massima piena. Tale portata è stata ripartita assegnando $7 \text{ m}^3/\text{s}$ al C. Barbegara, $4 \text{ m}^3/\text{s}$ al C. Rebosola e $7 \text{ m}^3/\text{s}$ al C. Morto stesso.

Per quanto riguarda i canali che solcano i territori tra il Bacchiglione e il Brenta, denominati C. di Scarico e C. Altipiano, che scolano nel C. Montalbano attraverso la botte a sifone di Conche e quindi nella Laguna di Venezia, si sono ipotizzate per essi delle portate fluenti pari a $7 \text{ m}^3/\text{s}$ ciascuno. Anche in questo caso, sulle base delle informazioni reperite presso il consorzio di bonifica competente, tali portate possono essere considerate approssimativamente pari a circa la metà di quelle massime previste.

Infine, per il C. Taglio Nuovissimo, che scarica le sue portate in laguna attraverso il C. di Scarico, in mancanza di dati di riferimento si è assunto in via ipotetica che in esso fluisca una portata pari a $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le altre condizioni al contorno necessarie per le simulazioni consistono essenzialmente nell'andamento dei livelli di marea sui nodi alla foce dei corsi d'acqua presi in esame. Per assegnare tale andamento si è fatto riferimento agli stessi dati utilizzati per i calcoli condotti

nello studio svolto per conto dell'Autorità di Bacino [16]. Nel caso della simulazione dell'evento del 4-7 ottobre 1992, preso in esame ai fini della taratura del modello, si è assegnato l'andamento dei livelli di marea registrato dal mareografo presso la Diga Sud di Chioggia. Nel caso delle simulazioni relative agli eventi di piena con assegnata frequenza probabile sono state ipotizzate delle condizioni che rappresentano un possibile evento di alta marea in condizioni di sizigia.

Per completare il sistema delle condizioni al contorno è necessario inoltre assegnare le modalità di funzionamento dei dispositivi che schematizzano i manufatti idraulici e le singolarità presenti nella rete. Nel caso in esame, oltre agli impianti idrovori presenti sul territorio i quali, come si è riferito in precedenza, vengono schematizzati con apposite procedure che descrivono l'attacco e lo stacco delle pompe, con altre particolari procedure numeriche implementate nel modello è stato descritto il funzionamento unidirezionale delle porte vinciane che controllano il collegamento tra C. Morto e Bacchiglione all'altezza di Ca' Pasqua, e quello tra il C. di Scarico dell'idrovora S. Pietro e il C. di Valle.

Le botti a sifone principali (Botte Trezze che sottopassa il Bacchiglione e il Brenta a Ca' Bianca e Botte di Conche che sottopassa il Brenta a Conche), sono state schematizzate inserendo dei tratti di canale, per i quali i valori dei coefficienti di scabrezza sono stati opportunamente modificati per tenere conto delle perdite di carico nell'attraversamento della botte. Infine tutte le conche presenti sono state considerate chiuse, come accade normalmente in caso di piena.

11.4 Taratura del modello matematico

Nel caso in esame non è stato possibile effettuare una vera e propria taratura dello schema di calcolo poichè non sono risultati disponibili sufficienti dati sperimentali nei tratti fluviali interessati dai calcoli.

Tuttavia è stato possibile operare un confronto con i risultati delle simulazioni effettuate nello studio [16] redatto per conto dell'Autorità di Bacino. In tale studio, infatti, il modello matematico unidimensionale delle aste principali del bacino del Brenta-Bacchiglione è stato tarato con riferimento all'evento del 4-7 ottobre 1992, per il quale sono disponibili le registrazioni dell'andamento dei livelli idrometrici in alcune sezioni significative. In particolare sono state utilizzate le registrazioni dei livelli agli idrometri di Limena, Corte e Ca' Bianca per il Brenta, e a Montegaldella, Voltabarozzo, Ca' Nordio, Bovolenta, Pontelongo e Ca' Bianca per il Bacchiglione.

In questo caso la taratura del modello matematico con riferimento agli stessi dati sperimentali è poco significativa poichè si riferisce ad una sola stazione per il Brenta e ad una per il Bacchiglione, entrambe localizzate all'altezza di Ca' Bianca. Tuttavia può risultare significativo il confronto tra i risultati del calcolo ottenuti per un medesimo evento tra il modello matematico uni-bidimensionale utilizzato in questo caso e quello unidimensionale, tarato, utilizzato nello studio [16], allo scopo di calibrare al meglio i coefficienti di scabrezza da assegnare ai tratti terminali di Brenta e Bacchiglione.

Tale confronto può risultare particolarmente significativo proprio per l'evento di piena del 4-7 ottobre 1992, poichè in tale caso le portate fluenti non furono tali da raggiungere le sommità arginali dei corsi d'acqua considerati. Poco significativo risulterebbe invece il confronto tra i risultati dei due modelli per le simulazioni degli eventi di piena con tempi di ritorno pari a 50 e 100 anni. Il modello unidimensionale infatti per sua stessa natura, considera che le portate siano in ogni caso contenute entro gli alvei, e per tali eventi, per i quali i livelli idrometrici raggiungono e superano il limite delle attuali sommità arginali, i risultati che esso fornisce non possono essere confrontati con quelli del modello uni-bidimensionale, che simula invece anche il sormonto delle sommità arginali e le conseguenti esondazioni.

Nelle Figg. 11.5 e 11.6 sono riportati graficamente l'andamento della marea e quello delle portate assegnate come condizioni al contorno nelle sezioni di monte di Brenta, Bacchiglione e Gorzone per la simulazione con il modello uni-bidimensionale. I livelli di marea (Fig. 11.5), assegnati sui nodi della foce del Brenta e sui nodi terminali dei corsi d'acqua che sversano in laguna, sono quelli registrati dal mareografo Diga Sud Chioggia del Comune di Venezia. Le portate nelle sezioni di monte del Brenta, Bacchiglione e Gorzone sono invece quelle calcolate in tali sezioni con il modello unidimensionale tarato utilizzato nello studio [16].

Dalle figure si osserva che nel corso dell'evento considerato il livello di marea si è mantenuto su valori assoluti quasi sempre superiori al livello medio del mare, raggiungendo la quota massima di circa +1.0 m s.l.m. e oscillando con un'ampiezza decrescente da circa 1.2 m a circa 60 cm. Con riferimento alle portate, nel corso dell'evento considerato la portata massima del Brenta fu, secondo la ricostruzione operata con il modello unidimensionale in [16], pari a circa 800 m³/s, quella del Bacchiglione pari a poco meno di 400 m³/s e quella del Gorzone pari a circa 250 m³/s.

Sulla base di questi dati di riferimento, e assegnando per i corsi d'acqua della rete minore le condizioni al contorno descritte nel paragrafo precedente, sono state condotte con il modello unidimensionale alcune simulazioni del medesimo evento dell'ottobre 1992, in modo da

determinare i più opportuni valori dei coefficienti di scabrezza da attribuire agli alvei dei tratti terminali di Brenta e Bacchiglione.

In questo caso si è cercato con il modello di riprodurre al meglio non solo l'andamento del livello registrato ai due idrometri considerati, ma anche il profilo inviluppo dei livelli massimi raggiunti nel corso dell'evento di piena, così come risulta dal calcolo con il modello unidimensionale riportato in [16].

Per quanto riguarda il Brenta, si è valutato per l'alveo canalizzato un valore del coefficiente di Strickler pari a $38 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, e per le espansioni golenali pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

Per il Bacchiglione si è assegnato un coefficiente pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per l'alveo e a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le zone golenali.

Si tratta di valori sostanzialmente diversi tra loro, che attribuiscono al Bacchiglione degli effetti di resistenza idraulica notevolmente superiori a quelli del Brenta. Tale risultato è peraltro in accordo con quanto riportato nello studio con il modello unidimensionale preso a riferimento.

Nelle seguenti Figg. 11.7 e 11.8 sono messi a confronto gli andamenti dei livelli misurati e calcolati in corrispondenza degli idrometri, e i relativi risultati riportati nello studio [16], ottenuti con il modello unidimensionale.

Come si vede l'accordo tra i due modelli è ottimo, a conferma che, essendo le medesime le condizioni al contorno assegnate, i valori dei coefficienti di scabrezza assunti nei due casi sono praticamente equivalenti.

Anche l'accordo con le misure idrometriche è accettabile, soprattutto nel caso del Bacchiglione (Fig. 11.6), per il quale lo scostamento tra valori calcolati e misurati è di modesta entità. Maggiori sono gli scarti nel caso del Brenta (Fig. 11.7), per il quale il modello uni-bidimensionale (come anche del resto il modello unidimensionale) pur adottando dei valori dei coefficienti di scabrezza piuttosto elevati rispetto ai valori che normalmente si assumono per corsi d'acqua con analoghe caratteristiche, sovrastima le quote idrometriche massime raggiunte al passaggio del colmo della piena.

Le seguenti Figg. 11.9 e 11.10 riportano i profili inviluppo dei livelli massimi raggiunti nel corso della simulazione per il Brenta e per il Bacchiglione, rispettivamente.

Nel caso del Brenta (Fig. 11.9) si rileva un'ottima corrispondenza tra i risultati ottenuti con il modello unidimensionale e con quello uni-bidimensionale utilizzato in questo caso, dato che gli scostamenti sono, in tutte le sezioni considerate, dell'ordine di pochi centimetri. Il valore massimo calcolato da entrambi i modelli all'altezza dell'idrometro di Ca' Bianca risulta, come si è detto in precedenza, leggermente superiore a quello misurato sperimentalmente.

In generale dal grafico di Fig. 11.9 si evince anche che, per una piena come quella considerata, la cui portata massima all'altezza di Codevigo è dell'ordine di $800 \text{ m}^3/\text{s}$ i livelli massimi nel Brenta si mantengono al di sotto del limite delle sommità arginali con un franco accettabile (superiore ad 1 m) fino all'altezza della confluenza con il Bacchiglione. A valle di tale sezione e fino alla confluenza con il Gorzone, dove l'andamento delle quote delle sommità arginali è più irregolare, anche per portate come quelle qui considerate, il franco arginale si riduce in alcuni punti oltre i limiti di sicurezza. A valle della confluenza con il Gorzone il franco rispetto alle sommità arginali si ristabilisce intorno a valori dell'ordine di 1 m.

Nel caso del Bacchiglione (Fig. 11.10), si rileva anche in questo caso una buona corrispondenza tra i risultati del calcolo con il modello uni-bidimensionale e quelli riportati nello studio [16], ottenuti con il modello unidimensionale. Modesto è pure lo scostamento rispetto all'unico riscontro sperimentale all'idrometro di Ca' Bianca.

In questo caso si rileva inoltre che un evento di piena come quello considerato dà origine, secondo i calcoli, a quote idrometriche che, nel tratto considerato, si mantengono sempre almeno di un metro al di sotto del limite delle sommità arginali.

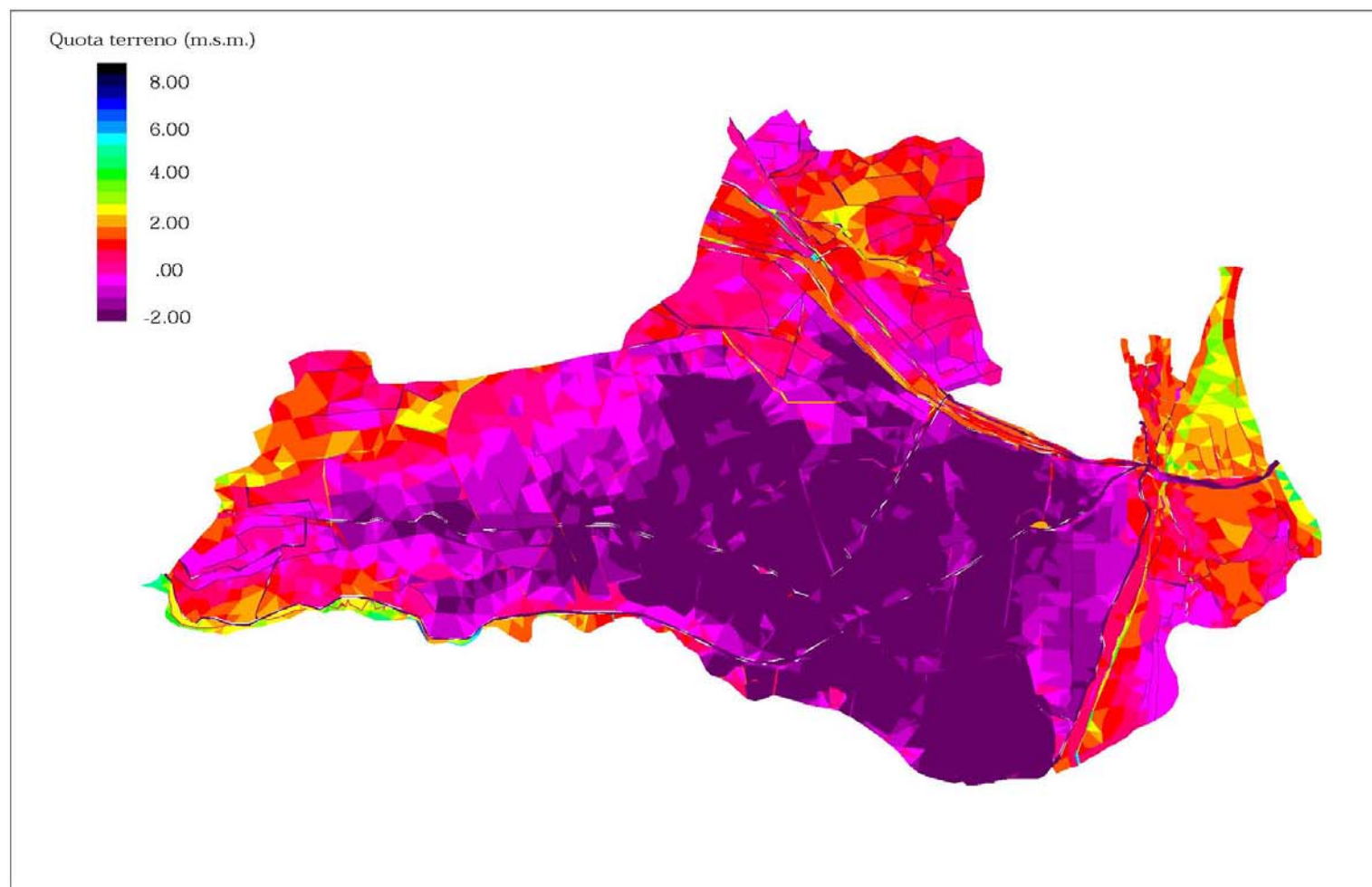


Fig. 11.4 - Modello matematico uni-bidimensionale tra il F. Adige e Brenta - Bacchiglione.
Schematizzazione della altimetria del territorio con il modello matematico.

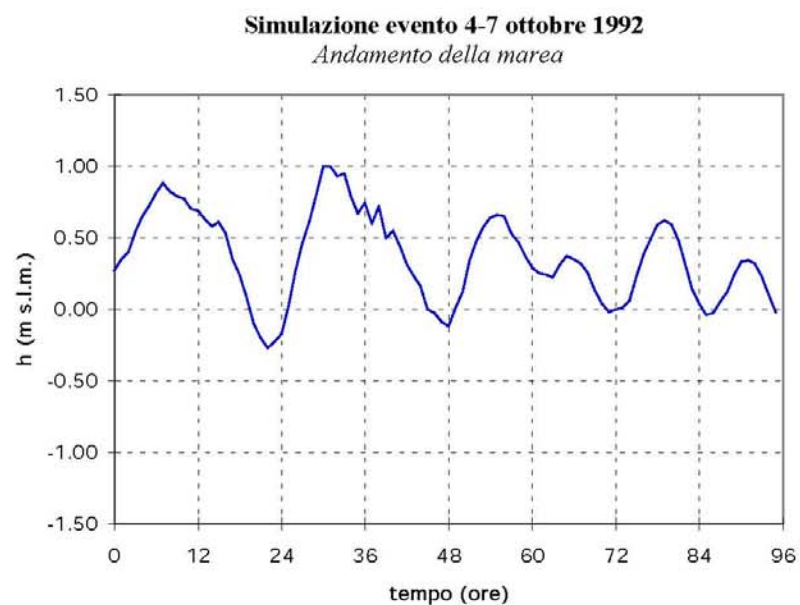


Fig. 11.5 - Andamento del livello di marea registrato al mareografo di Diga Sud Chioggia durante l'evento del 4-7 ottobre 1992.

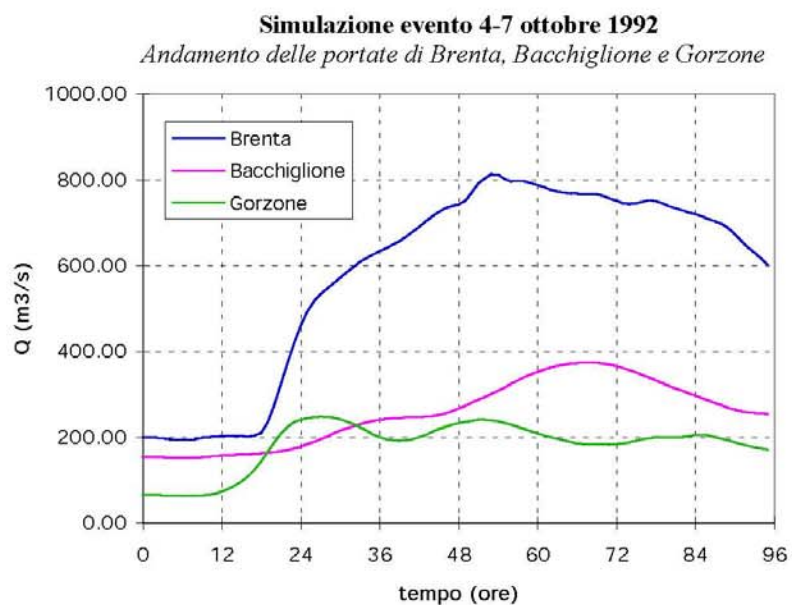


Fig. 11.6 - Andamento delle portate assegnate sulle sezioni di monte di Brenta, Bacchiglione e Gorzone nella simulazione dell'evento del 4-7 ottobre 1992.

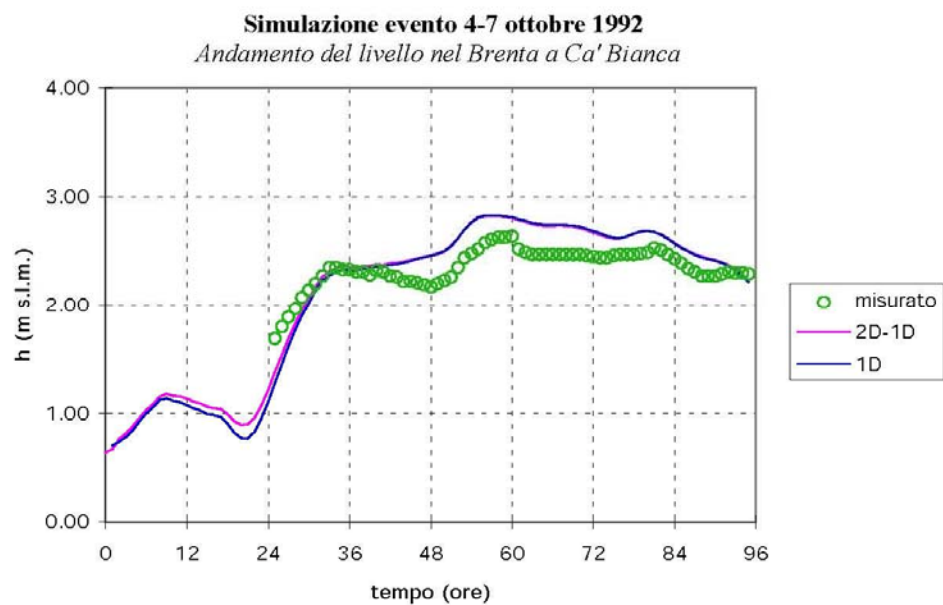


Fig. 11.7 - Confronto fra la registrazione del livello del Brenta a Ca' Bianca e i risultati delle simulazioni con il modello 2D-1D e con il modello 1D.

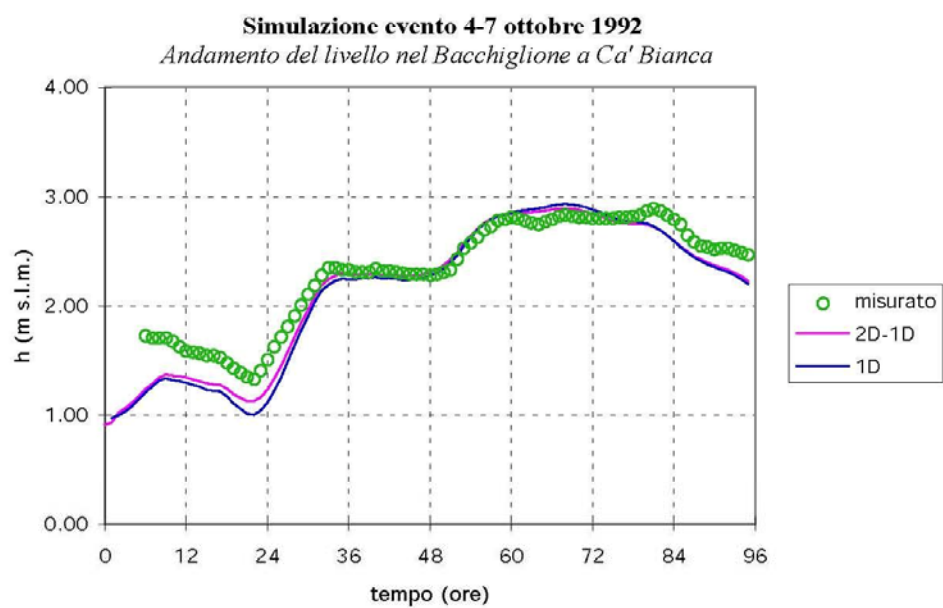


Fig.11.8 - Confronto fra la registrazione del livello del Bacchiglione a Ca' Bianca e i risultati delle simulazioni con il modello 2D-1D e con il modello 1D.

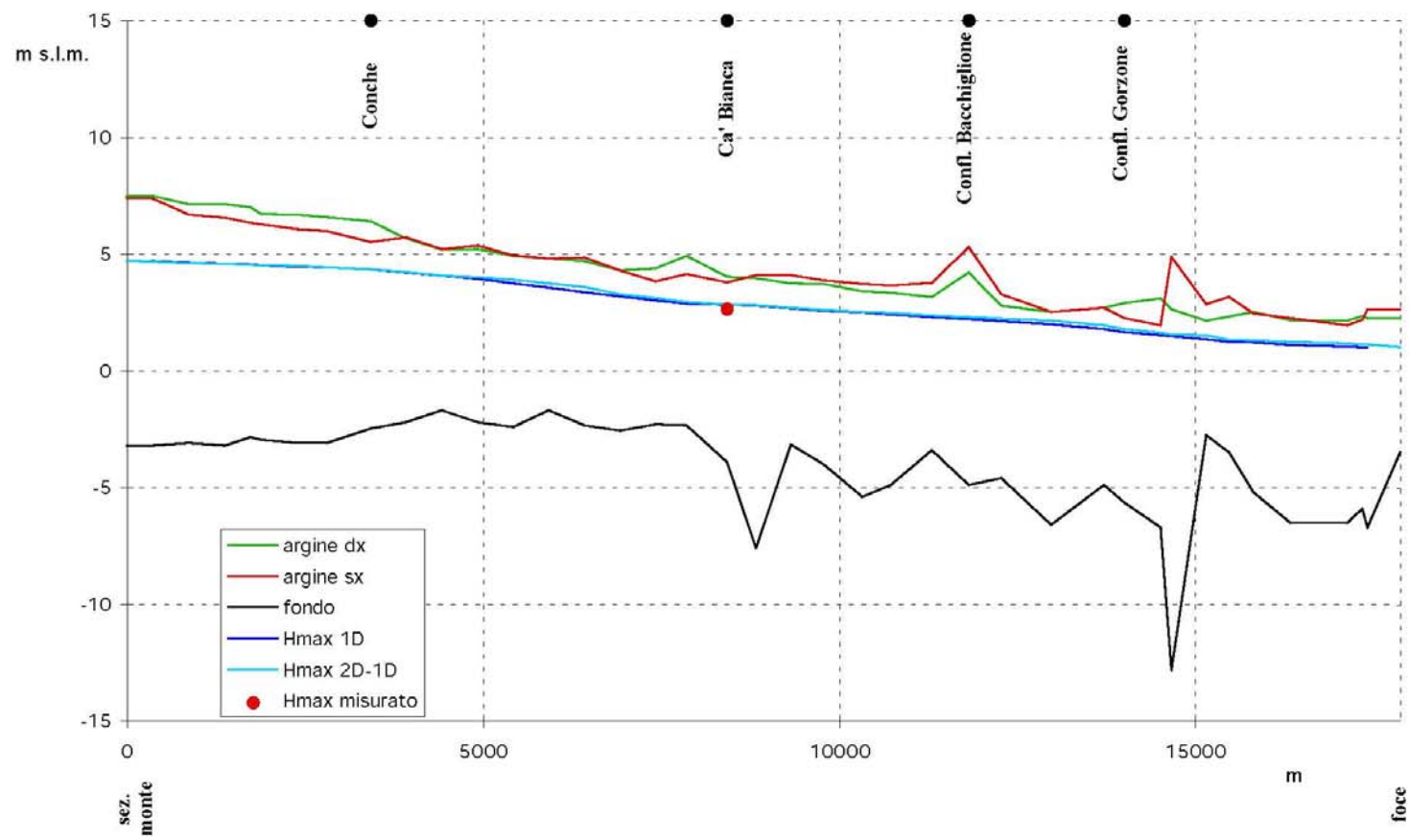


Fig. 11.9 - Profilo inviluppo dei livelli massimi lungo il Brenta calcolati nella simulazione dell'evento del 4-7 ottobre 1992.

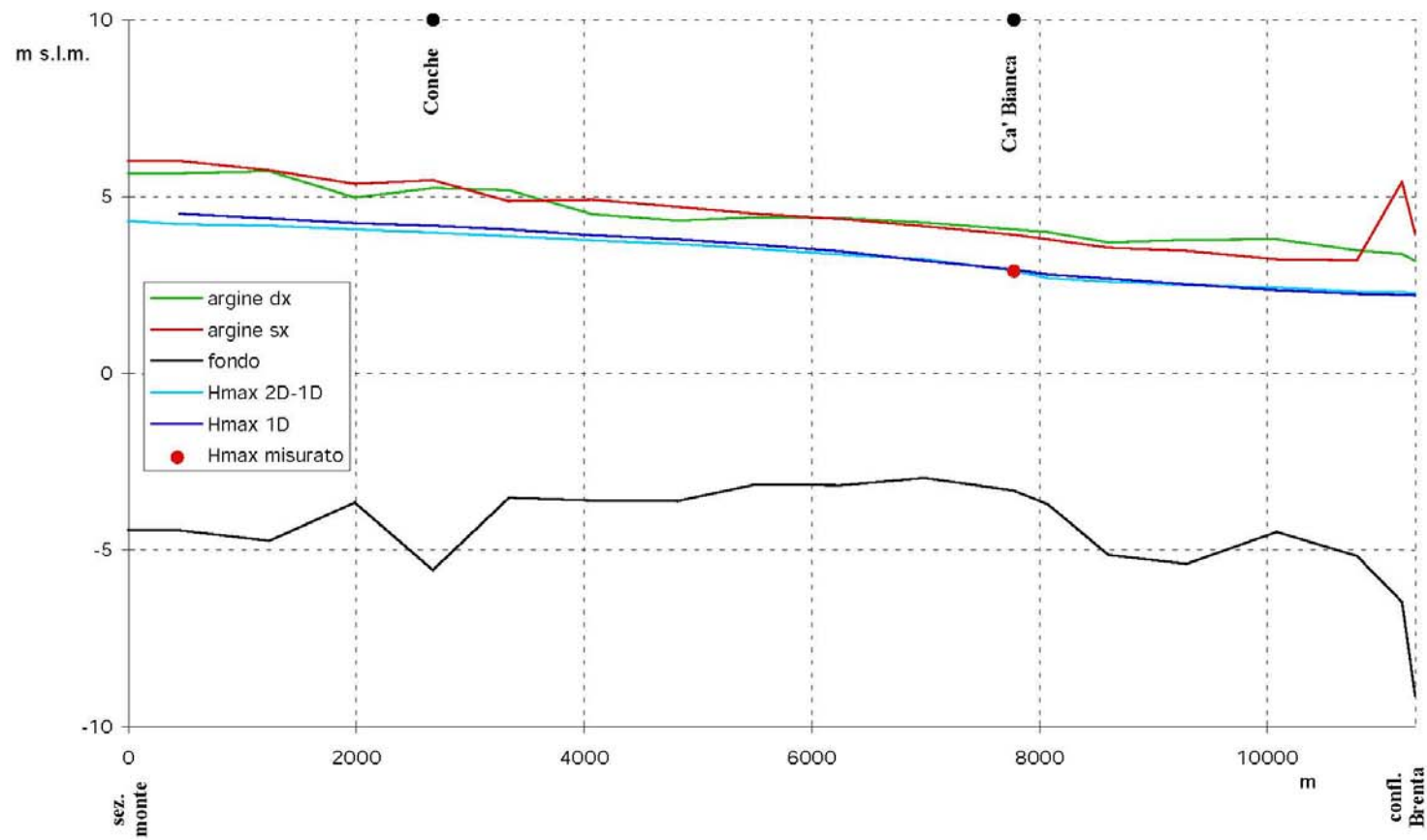


Fig. 11.10 - Profilo inviluppo dei livelli massimi lungo il Bacchiglione calcolati nella simulazione dell'evento del 4-7 ottobre 1992.

11.5 - A - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 50 anni

Con il modello matematico uni-bidimensionale sono state condotte alcune simulazioni per esaminare eventi di piena che allo stato attuale si possono ritenere critici per i tratti terminali di Brenta e Bacchiglione. Allo scopo si è fatto riferimento ai dati contenuti nel già citato studio promosso dall'Autorità di Bacino [16], nell'ambito del quale sono state valutate con un modello unidimensionale le massime portate convogliabili dalle aste fluviali considerate lungo tutto il loro corso di pianura.

Nel primo caso esaminato (caso A), descritto nel presente paragrafo, è stato preso in esame uno dei numerosi eventi di piena critici indagati nell'indagine suddetta, che considera il contemporaneo verificarsi di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni sia nel Brenta, sia nel Bacchiglione, sia nel loro affluente Gorzone.

Nel caso successivo (caso B), descritto nel paragrafo seguente, è stato considerato un evento di piena ancora più gravoso, il cui tempo di ritorno sia per il Brenta, che per il Bacchiglione che per il Gorzone è valutabile in 100 anni.

Nelle seguenti Figg. 11.11 e 11.12 sono illustrate le principali condizioni al contorno assegnate nel caso A, tratte, come si è detto, dai risultati delle simulazioni effettuate con il modello unidimensionale nello studio [16].

Il grafico di Fig. 11.11 illustra l'andamento della marea considerata alla foce del Brenta e sui nodi terminali dei corsi d'acqua che sfociano in laguna di Venezia. Si tratta di una marea semidiurna di forma sinusoidale con ampiezza pari ad 1.0 m oscillante attorno alla quota 0.0 m s.l.m., che può considerarsi rappresentativa di un evento di alta marea quali se ne possono verificare in condizioni di sizigia.

In Fig. 11.12 sono rappresentate le portate assegnate sui nodi di Brenta, Bacchiglione e Gorzone al loro ingresso nel comprensorio considerato. Dal grafico si osserva che le onde di piena nei tre corsi d'acqua assumono valori massimi di portata assai diversi tra di loro, e si presentano notevolmente sfasate nel tempo, a causa delle differenti caratteristiche idrologiche dei tre bacini idrografici e delle diverse modalità di propagazione delle piene nei tratti fluviali che stanno a monte.

Nel caso del Brenta la portata assume un valore massimo di oltre 1800 m³/s attorno alla trentesima ora di simulazione, nel caso del Bacchiglione la portata massima, pari a circa 450 m³/s, si verifica attorno alla cinquantesima ora; per il Gorzone, infine, il massimo di portata è pari a circa 280 m³/s, e si verifica attorno alla venticinquesima ora di simulazione.

Va evidenziato al riguardo che, sulla base dello studio [16], le onde di piena considerate sono tali da mettere in crisi le arginature di Brenta e Bacchiglione in molti tratti del loro corso di pianura. In particolare per quanto riguarda il Brenta, i risultati dei calcoli con il modello unidimensionale hanno mostrato che un evento come quello qui considerato è superiore alla capacità di portata del fiume e darebbe origine a significative tracimazioni degli argini sia nel tratto terminale del fiume a valle di Codevigo, sia anche nel tratto intermedio, soprattutto tra Carturo e Limena.

Le portate considerate, che il modello propagatorio unidimensionale fa pervenire al tratto terminale del Brenta sono perciò superiori a quelle che realmente potrebbero verificarsi per il medesimo evento, perchè non tengono conto degli effetti delle esondazioni. I risultati dei calcoli condotti con il modello uni-bidimensionale in questo caso sono perciò cautelativi, perchè si riferiscono all'eventualità in cui le portate generate dall'evento meteorico considerato si

propaghino fino al tratto del fiume incluso nella provincia di Venezia senza dare luogo ad esondazioni più a monte.

Nelle ipotesi assunte i risultati dei calcoli sono illustrati nei grafici seguenti.

Nelle Figg. 11.13 e 11.14 è riportato l'andamento del livello e della portata fluente in alcune sezioni significative del tratto del Brenta incluso nella schematizzazione.

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli, il grafico di Fig. 11.13 mostra che il livello idrometrico massimo che viene raggiunto nella sezione di monte del tratto fluviale in questione è pari a quasi 6.8 m s.l.m., e si riduce progressivamente fino al valore massimo di 1.0 m s.l.m. in corrispondenza del nodo di foce. All'altezza di Conche la quota idrometrica massima è pari a circa 6 m s.l.m., e ciò corrisponde al limite delle sommità arginali. Come l'andamento dei grafici lascia presumere, si verificano significative esondazioni, soprattutto nel tratto iniziale considerato, e di conseguenza il livello massimo raggiunto è controllato principalmente dalle quote del ciglio arginale sormontato dalle acque.

Le esondazioni del Brenta sono evidenti dal grafico di Fig. 11.14, nel quale si vede che a seguito dei sormonti arginali la portata fluente si riduce sensibilmente procedendo verso la foce. Infatti il valore della portata al colmo si riduce da oltre 1800 m³/s nella sezione di monte a circa 1650 m³/s all'altezza di Conche. La riduzione maggiore della portata si riscontra però nel tratto che va da Conche a Ca' Bianca, dove la portata si riduce fino a circa 1300 m³/s. Valutando la differenza tra il volume complessivo fluente attraverso queste due sezioni, si ricava che nel tratto indicato le esondazioni portano alla fuoriuscita di oltre 10⁷ m³ d'acqua, nell'intervallo che va approssimativamente dall'istante t=24 ore all'istante t=40 ore.

Nelle sezioni poste a valle di Ca' Bianca il valore della portata massima assume valori progressivamente crescenti fino a raggiungere quasi il valore massimo iniziale per effetto delle immissioni di Bacchiglione e Gorzone.

Le Figg. 11.15 e 11.16 illustrano l'andamento dei livelli idrometrici e delle portate in alcune sezioni lungo il Bacchiglione. Dai grafici si ricava che, nelle ipotesi assunte, le portate massime fluenti entro il Bacchiglione restano contenute entro le sommità arginali. Nelle tre sezioni considerate i livelli massimi (Fig. 11.15) si riducono progressivamente da circa 5 m s.l.m. alla sezione di monte a poco meno di 3 m s.l.m. alla confluenza con il Brenta. Le portate massime (Fig. 11.15) sono invece sostanzialmente invariate per tutte e tre le sezioni considerate.

In generale, sia per il Brenta che per il Bacchiglione i grafici appena illustrati consentono anche di evidenziare che l'effetto della marea alla foce è significativo solo per le sezioni collocate più a valle. In entrambi i casi si può ritenere che, per portate eccezionali come quelle qui considerate, l'effetto della marea per le sezioni situate a monte di Ca' Bianca sia quasi trascurabile.

Le Figg. 11.17 e 11.18 rappresentano i profili dei livelli idrometrici massimi raggiunti nel corso della simulazione sia per il Brenta che per il Bacchiglione.

Nel primo caso, dal grafico è evidente che per l'evento considerato le quote delle sommità arginali sono insufficienti per contenere le massime altezze d'acqua, poichè la linea involuppo dei livelli massimi si colloca per lunghi tratti al di sopra delle linee che rappresentano l'andamento delle sommità arginali, indicando i punti in cui hanno luogo le esondazioni.

In particolare a monte di Conche risulta sormontato l'argine sinistro; tra Conche e Ca' Bianca i sormonti riguardano sia l'argine sinistro che quello destro; infine esondazioni su entrambi i lati sono segnalate anche nel tratto tra la confluenza con il Bacchiglione e quella con il Gorzone.

Il grafico di Fig. 11.17 mette anche in evidenza che il tratto in cui avvengono le maggiori esondazioni, ovvero tra Conche e Ca' Bianca, è caratterizzato, oltre che da quote delle sommità arginali più depresse rispetto ai tratti immediatamente a monte e a valle, anche da un

significativo rialzo del fondo, fino a quote dell'ordine di -2.0 m s.l.m. ed anche superiori. Tale circostanza contribuisce all'incremento delle quote idrometriche massime principalmente per effetto delle maggiori perdite di carico legate alla riduzione della sezione.

Il profilo inviluppo delle quote idrometriche massime raggiunte lungo il Bacchiglione (Fig. 11.18) mostra che, pur non verificandosi sormonti delle arginature, esistono dei tratti in cui il franco arginale si riduce fino quasi al limite dell'annullamento. Ciò accade sia in destra nel tratto tra Conche e Ca' Bianca, sia in sinistra, in prossimità della confluenza con il Brenta.

La successiva Fig. 11.19 riporta alcune immagini tratte dalla sequenza animata prodotta dal modello per rappresentare la progressione degli allagamenti. Per una migliore visualizzazione del fenomeno è possibile consultare la sequenza completa, memorizzata in forma di animazione su supporto magnetico e allegata. Dalle immagini è possibile comunque riconoscere chiaramente l'espansione dell'allagamento originato dai sormonti delle arginature del Brenta in destra e in sinistra tra Conche e Ca' Bianca. Le esondazioni in sinistra vanno ad invadere progressivamente praticamente l'intero bacino compreso tra Brenta, margine lagunare e S.S. Romea (bacino Trezze), arrivando ad investire l'abitato di Valli. L'area è sommersa con una lama d'acqua che in alcuni punti raggiunge anche altezze rilevanti, dell'ordine di 2 m. Dal calcolo risulta che il volume d'acqua che invade questo bacino è approssimativamente pari a circa $7.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Considerando la capacità dell'idrovora Trezze, che è di $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$ al massimo, lo smaltimento di un tale volume d'acqua ad opera dell'impianto richiederebbe circa 20 giorni.

Sempre in sinistra risulta compeltamente allagata la fetta di territorio compresa tra Brenta e C. Taglio Novissimo. In questo caso le arginature del canale fungono da barriera alla diffusione dell'allagamento, impedendo che vengano investiti i territori dei bacini di bonifica adiacenti alla laguna (bacino Bernio e bacino Fogolana).

Le esondazioni dalle arginature in destra vanno ad allagare a loro volta la striscia di territorio compresa tra Brenta e Bacchiglione, arrestandosi contro le arginature di quest'ultimo. Anche in questo caso l'altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui territori allagati è considerevole. Si osserva inoltre che l'esondazione si propaga verso monte fino al limite del contorno del reticolo di calcolo. E' probabile pertanto che ulteriori territori localizzati più a monte in provincia di Padova e non inclusi nel dominio del modello, potrebbero essere interessati dall'allagamento.

Oltre alle esondazioni del Brenta, le immagini di Fig. 11.19 mettono anche in evidenza che dai calcoli risultano significative esondazioni anche del Gorzone. L'insufficienza del tratto terminale del Gorzone per eventi analoghi a quello qui considerato era già stata messa in evidenza nelle precedenti indagini condotte per conto della Provincia di Venezia. In questo caso, la più completa e realistica schematizzazione dell'area, conferma e avvalora quei risultati, che erano stati ottenuti valutando le condizioni critiche nel Gorzone senza estendere simultaneamente l'analisi anche alla propagazione delle piene nel Brenta e nel Bacchiglione.

Il sormonto delle arginature del Gorzone avviene nel suo tratto terminale, approssimativamente all'altezza di Valcerere Dolfina, dove le quote delle arginature risultano, secondo i dati di riferimento, leggermente più depresse. In tale tratto l'esondazione avviene principalmente in destra e produce un'onda di sommersione che si propaga rapidamente sulle campagne adiacenti con una lama d'acqua modesta, dell'ordine di 1 m al massimo, favorita nella sua propagazione dalle vie preferenziali costituite dai canali della bonifica, e raggiungendo quasi il limite meridionale del dominio, costituito dalle arginature dell'Adige. Nella fase di esaurimento della piena, l'estensione dei territori allagati si riduce progressivamente per effetto del drenaggio della rete di bonifica che fa capo all'idrovora di S. Pietro.

Dalla stessa Fig. 11.19 si osservano anche estese aree allagate nelle campagne dei bacini di bonifica compresi tra Gorzone e C. dei Cuori (bacini delle idrovore Punta Gorzone, Bacino

Orientale e Foresto Centrale). In questo caso l'origine degli allagamenti è in parte dovuta ad esondazioni dello stesso Gorzone lungo l'argine sinistro, ancora in prossimità di Valcerere Dolfina, ma in massima parte alle già ricordate esondazioni del Brenta immediatamente a monte della confluenza con il Gorzone stesso. Le acque che escono dal letto del Brenta si propagano rapidamente sulle campagne che vengono sommerse da una lama d'acqua di altezza variabile tra 0.5 e 1.0 m, anche in questo caso favorite dalla presenza dei canali della rete di bonifica, che vengono invasati dalle acque esondanti e danno origine ad ulteriori tracimazioni.

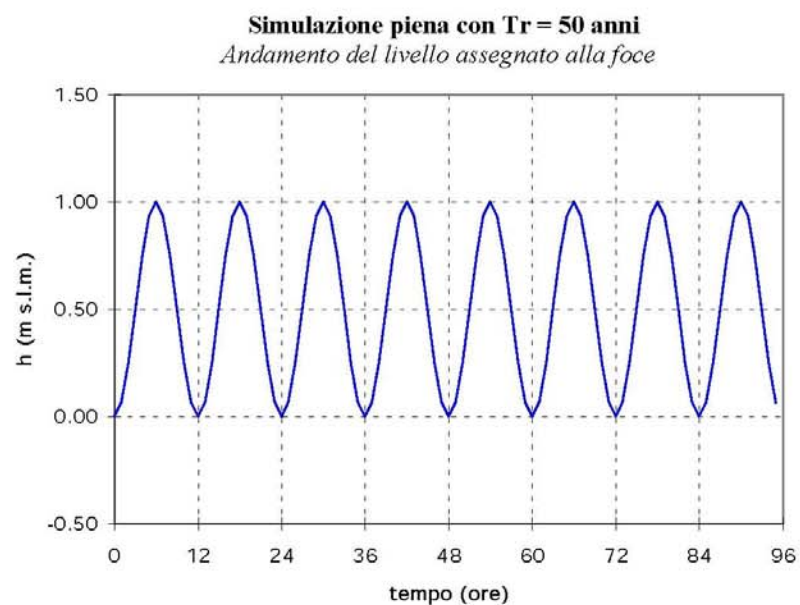


Fig. 11.11 - Andamento del livello di marea assegnato alla foce del Brenta e in laguna nella simulazione dell'evento di piena con $Tr = 50$ anni

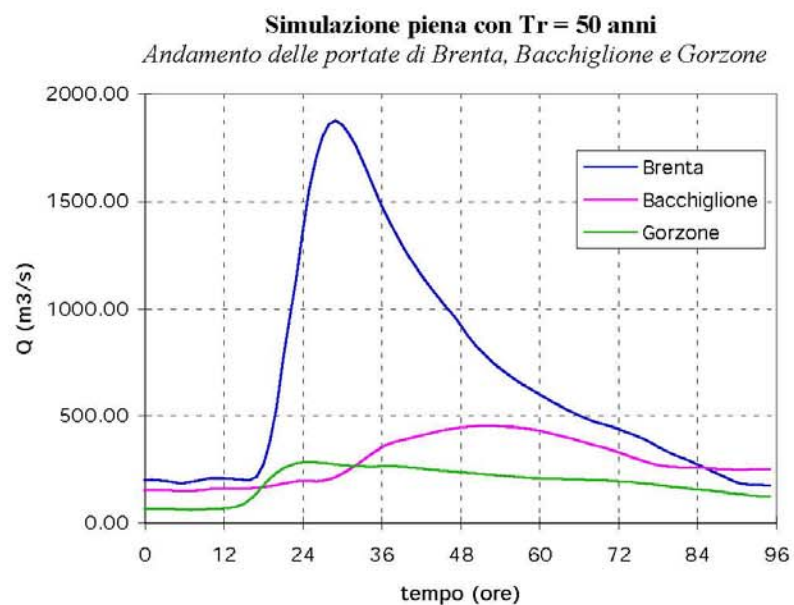


Fig. 11.12 - Andamento delle portate assegnate sulle sezioni di monte di Brenta, Bacchiglione e Gorzone nella simulazione dell'evento di piena con $Tr = 50$ anni

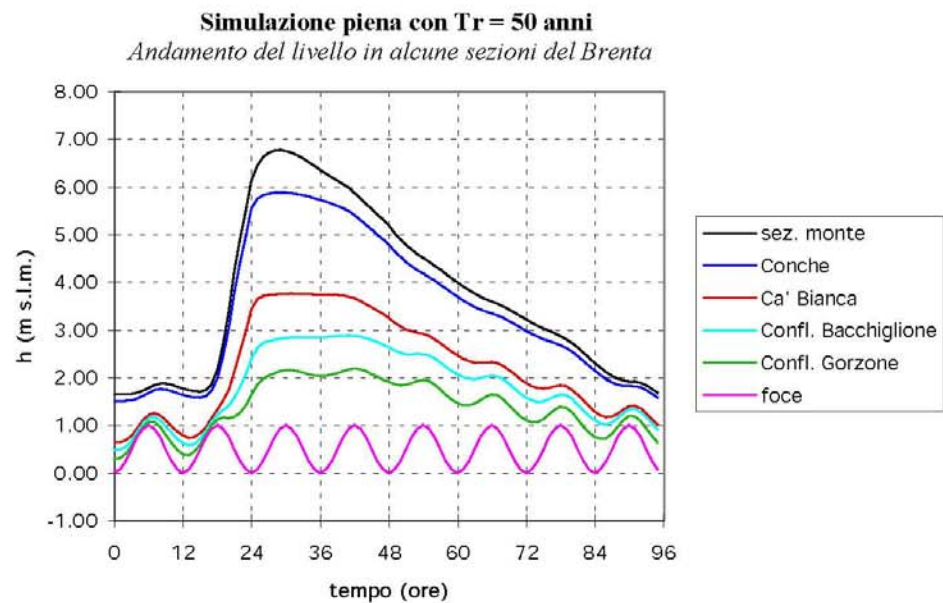


Fig. 11.13 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Brenta calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 50$ anni

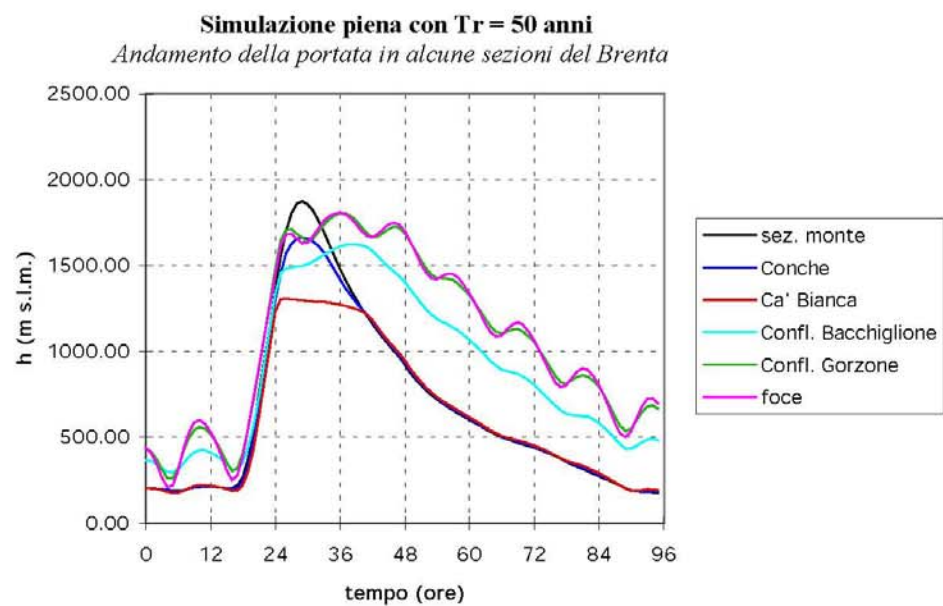


Fig. 11.14 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Brenta calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 50$ anni

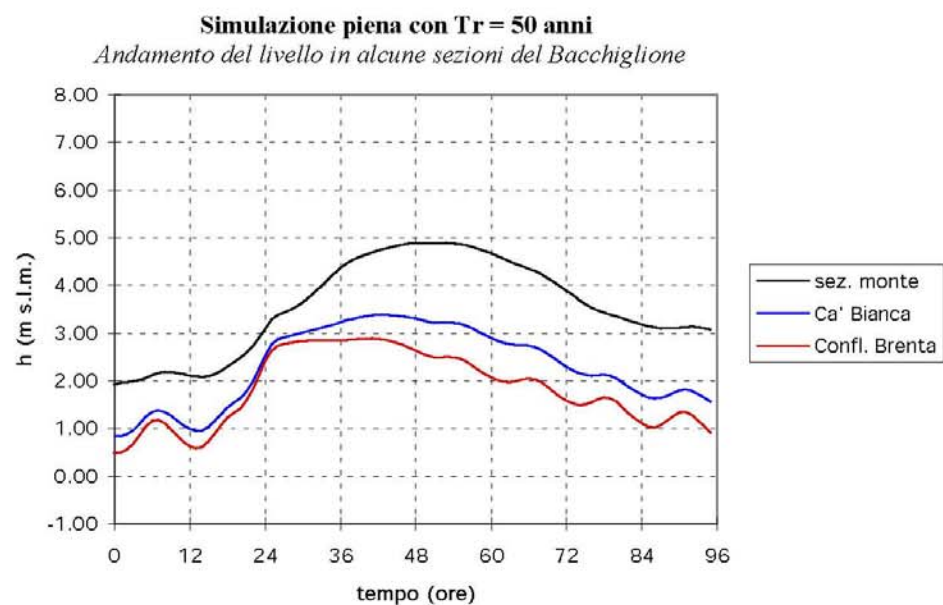


Fig. 11.15 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Bacchiglione calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 50$ anni

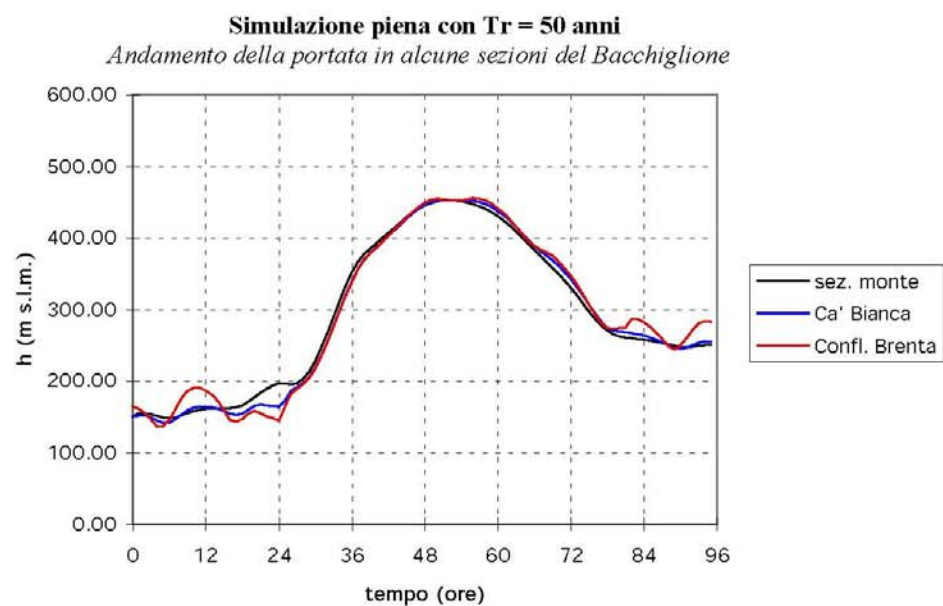


Fig. 11.16 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Bacchiglione calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 50$ anni

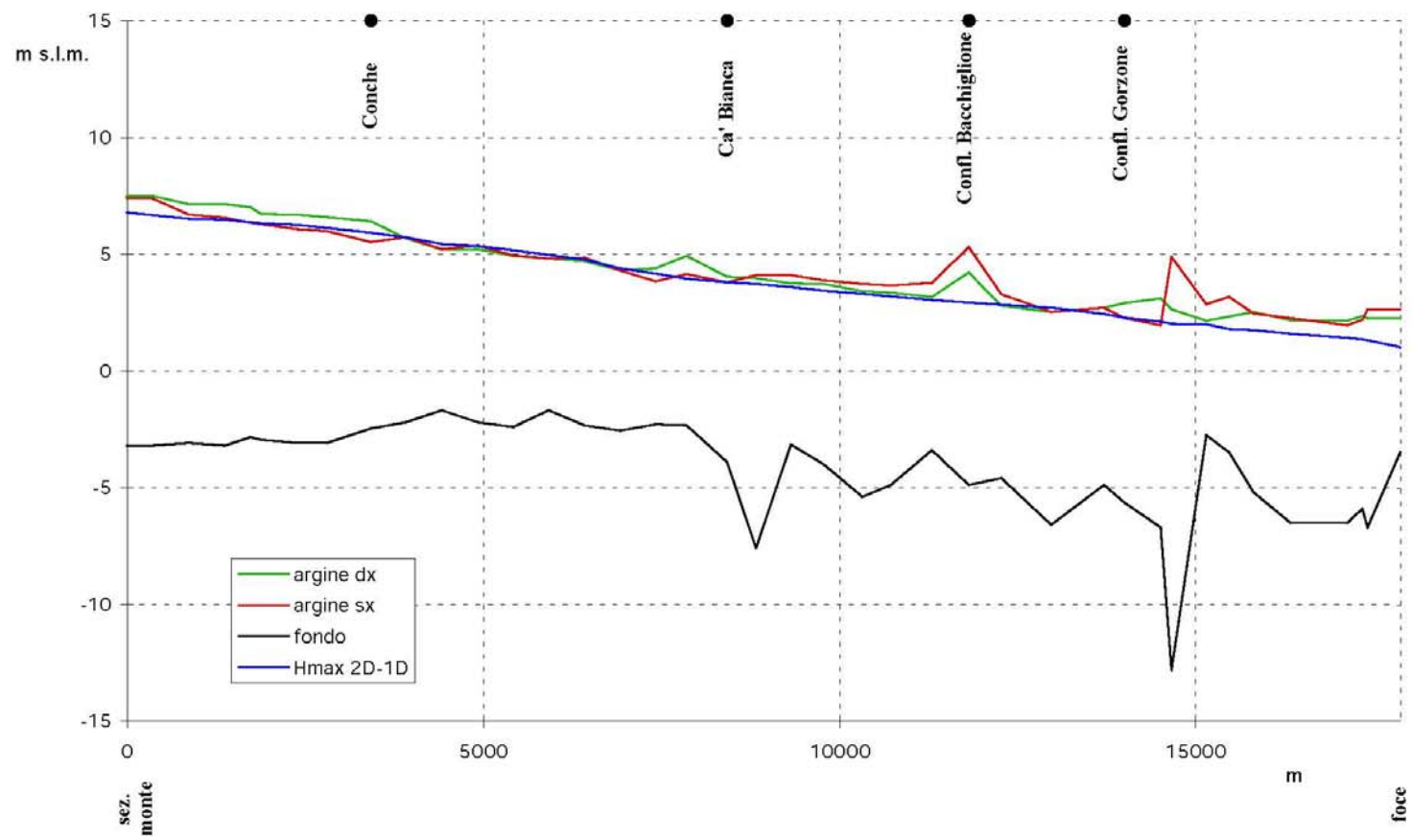


Fig. 11.17 - Profilo inviluppo dei livelli massimi lungo il Brenta calcolati nella simulazione dell'evento con tempo di ritorno pari a 50 anni

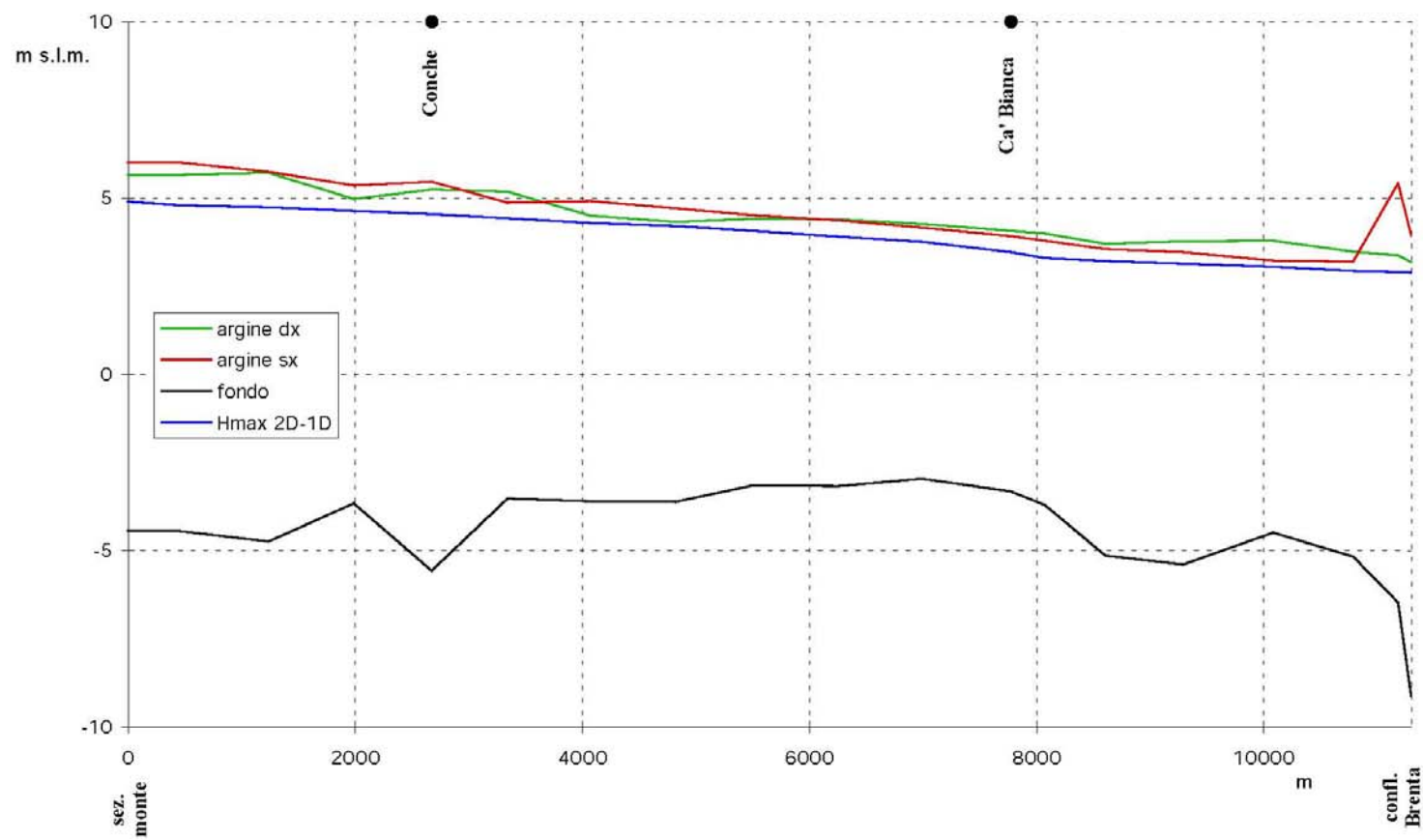


Fig. 11.18 - Profilo involucro dei livelli massimi lungo il Bacchiglione calcolati nella simulazione dell'evento con tempo di ritorno pari a 50 anni

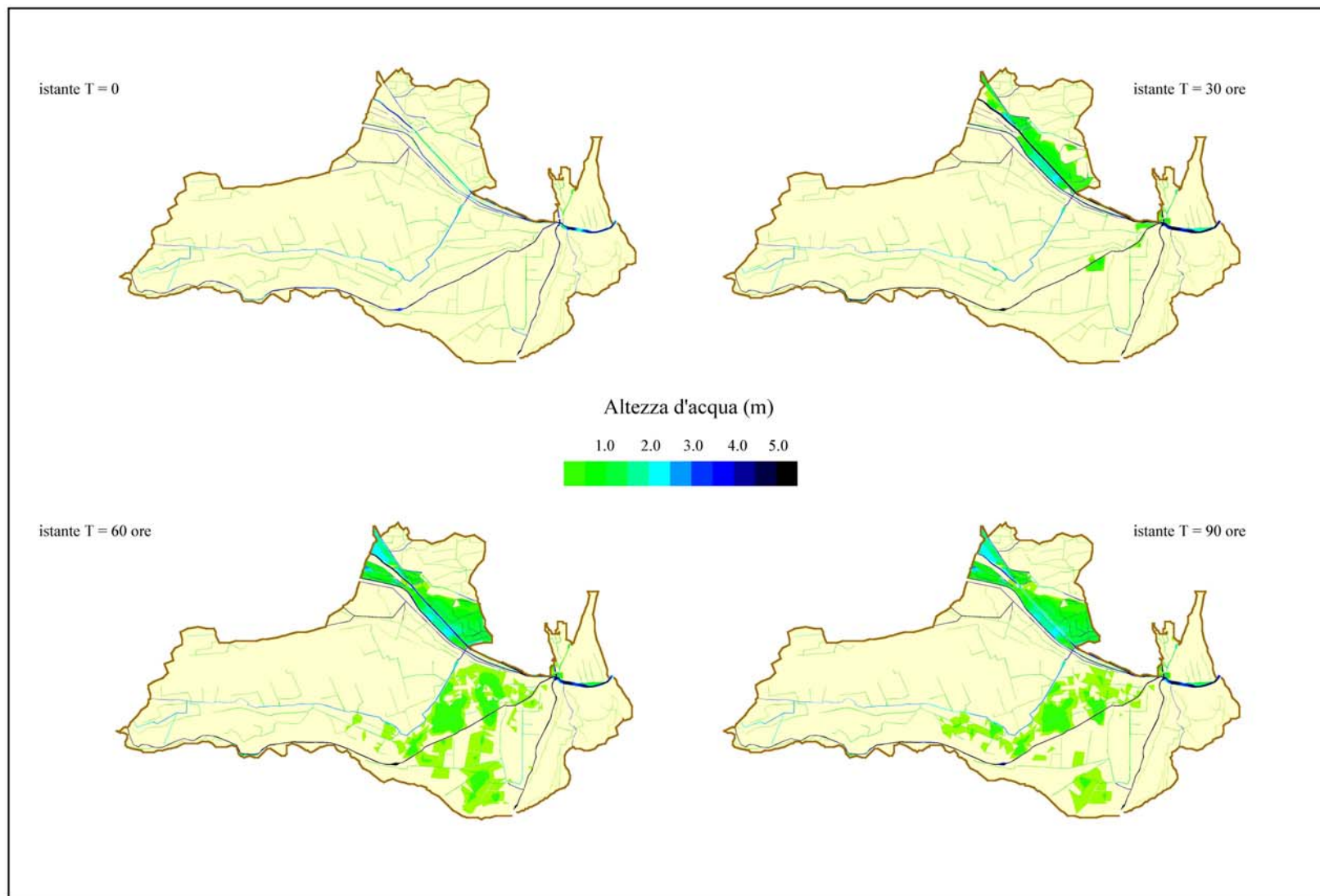


Fig. 11.19 - Bacino tra Brenta e Adige. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 50$ anni (caso A).

11.6 Caso B - Simulazione della propagazione di un'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 100 anni

Una seconda simulazione con il modello matematico ha preso in esame l'eventualità che si verificassero simultaneamente eventi di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni sia nel Brenta che nel Bacchiglione che nel Gorzone. Gli andamenti delle portate entranti nelle sezioni di monte dei tre corsi d'acqua e del livello di marea assegnato alla foce, tratti, come nel caso precedente, dai risultati dei calcoli con il modello unidimensionale condotti nell'ambito dello studio promosso dall'Autorità di Bacino [16], sono rappresentati nelle seguenti Figg. 11.20 e 11.21.

Anche in questo caso la marea considerata (Fig. 11.20) ha andamento sinusoidale con periodo semidiurno, ampiezza pari ad 1 m e altezza massima pari ad 1.0 m s.l.m. Tale andamento corrisponde a quello di un'alta marea gravosa ma non eccezionale che si verifichi in condizioni di sizigia.

Gli idrogrammi di portata (Fig. 11.21) mostrano che, per l'evento considerato, le portate massime alle sezioni di ingresso nel dominio del modello sono pari a 2050 m³/s per il Brenta, a 510 m³/s per il Bacchiglione e a 310 m³/s per il Gorzone.

Anche in questo caso va sottolineato che gli andamenti descritti sono stati calcolati nello studio [16] con un modello unidimensionale senza tenere conto delle possibili esondazioni degli stessi corsi d'acqua nei loro tratti di monte. Ciò porta verosimilmente ad una sovrastima delle portate massime che, per eventi meteorici come quello considerato, possono transitare nel tratto terminale di questi fiumi. In particolare nello studio [16] è messo in evidenza che un evento meteorico centenario come quello qui considerato potrebbe portare a significative esondazioni del Brenta nel tratto tra Carturo e Limena con conseguenti riduzioni della portata massima in arrivo nel tratto terminale.

Ciò nonostante le simulazioni con il modello uni-bidimensionale mantengono la loro validità in quanto analizzano il funzionamento del sistema quando questo è interessato da portate al limite della capacità degli alvei; esse rappresentano poi correttamente gli effetti degli eventi considerati nel caso in cui vengano realizzati a monte gli interventi necessari per garantire il passaggio delle piene previste.

I grafici delle Figg. 11.22 e 11.23 mostrano l'andamento del livello e della portata fluente nelle stesse sezioni del Brenta prese in considerazione nel caso precedente.

Con riferimento ai livelli (Fig. 11.22) si osserva che le maggiori portate in arrivo da monte non portano ad apprezzabili incrementi delle quote idrometriche massime nelle sezioni considerate, se si eccettua la sezione di monte in cui il livello massimo raggiunge la quota di 6.91 m s.l.m. a fronte di 6.77 m s.l.m. raggiunti al massimo nel caso precedente.

Nelle sezioni ubicate più a valle, per effetto dei sormonti che, ovviamente, si verificano anche in questo caso, e che interessano gli stessi tratti del caso precedente, i livelli idrometrici massimi sono sostanzialmente controllati dalle quote delle sommità arginali dove si verificano le esondazioni, e quindi non si modificano in misura apprezzabile.

Anche con riferimento alle portate, le differenze sui valori massimi rispetto al caso precedente sono modeste, indicando che le portate calcolate sono quelle al limite della capacità del Brenta nel suo tratto terminale. All'altezza di Conche si rileva un leggero incremento della portata massima (da 1660 m³/s a 1720 m³/s), ma nella sezione di Ca' Bianca i risultati sono pressoché coincidenti (circa 1305 m³/s). Le differenze tra i due casi sono di modesta entità anche nelle sezioni ubicate più a valle (da 1623 m³/s a 1681 m³/s alla confluenza con il Bacchiglione e da 1802 m³/s a 1810 m³/s alla confluenza con il Gorzone).

Analoghe osservazioni possono essere fatte infine per quanto riguarda il profilo dei livelli massimi (Fig. 11.26): lungo tutto il tratto di Brenta preso in considerazione le differenze rispetto al caso precedente sono di modesta entità.

Pr quanto riguarda il Bacchiglione, gli incrementi di livello rispetto al caso precedente sono più consistenti, essendo dell'ordine di circa 30 cm in corrispondenza della sezione di monte, di quasi 20 cm all'altezza di Ca' Bianca, e di appena 5 cm alla confluenza con il Brenta (Fig. 11.24).

Esaminando il grafico relativo all'andamento delle portate (Fig. 11.25) si intuisce che in questo caso si verificano delle tracimazioni degli argini, poichè si vede che in corrispondenza delle due sezioni poste più a valle il colmo dell'idrogramma di piena risulta "decapitato" rispetto a quello relativo alla sezione situata più a monte. Questo evento è indicato anche dalla successiva Fig. 11.27, che riporta il profilo inviluppo delle quote idrometriche massime raggiunte nel corso della piena. Si osserva infatti che la linea dei livelli massimi, che si colloca dovunque molto vicina alle linee che rappresentano le sommità arginali, in un tratto tra Conche e Ca' Bianca supera l'argine destro, e ciò indica il locale sormonto dell'arginatura.

La localizzazione delle esondazioni e l'estensione delle aree soggette ad allagamento per l'evento considerato sono ben illustrate dalla sequenza di immagini di Fig. 11.28. Anche in questo caso l'animazione completa è stata archiviata su supporto magnetico ed allegata, per poter essere visualizzata al computer.

Per quanto riguarda le zone allagate dalle esondazioni del Brenta, non si osservano significative differenze rispetto al caso precedente. Sono solo leggermente incrementate le portate che esondano dall'argine destro immediatamente a monte della confluenza con il Gorzone.

Le differenze più marcate riguardano invece il Bacchiglione che, come si è detto, esonda in destra idrografica a valle di Conche. Gli effetti di tale esondazione non sono però molto evidenti, poichè l'onda di sommersione resta confinata nella sottile striscia di territorio compresa tra il Bacchiglione e il C. Morto, che scorre nelle sue immediate adiacenze. In un punto lo stesso C. Morto è superato dall'esondazione e l'allagamento tende a propagarsi anche al suo affluente C. Barbegara. Il volume d'acqua che esce dal Bacchiglione è comunque di entità modesta, poichè esso ammonta a poco più di 10^6 m^3 .

Sono invece sensibilmente maggiori del caso precedente gli allagamenti che in questo caso sono determinati dalle esondazioni del Gorzone. Infatti, le maggiori portate in arrivo da monte e i sia pur modesti incrementi di livello alla confluenza con il Brenta, fanno sì che le acque che escono dal Gorzone sia in destra che in sinistra idrografica, all'altezza di Valcerere Dolfina e poco più a valle, invadano delle superfici più estese rispetto al caso precedente. In questo caso il volume d'acqua che complessivamente esce dal letto del Gorzone ammonta a circa $5.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, e tale volume fuoriesce quasi interamente in destra allagando i territori dei bacini di S. Pietro e Bebbe, che fanno capo all'impianto di S. Pietro che scarica nel C. di Valle. Poichè la portata massima che tale impianto può sollevare è circa $9 \text{ m}^3/\text{s}$ il tempo necessario perchè esso possa smaltire tale volume, supponendo che possa funzionare al massimo regime con continuità, è pari a circa 7 giorni.

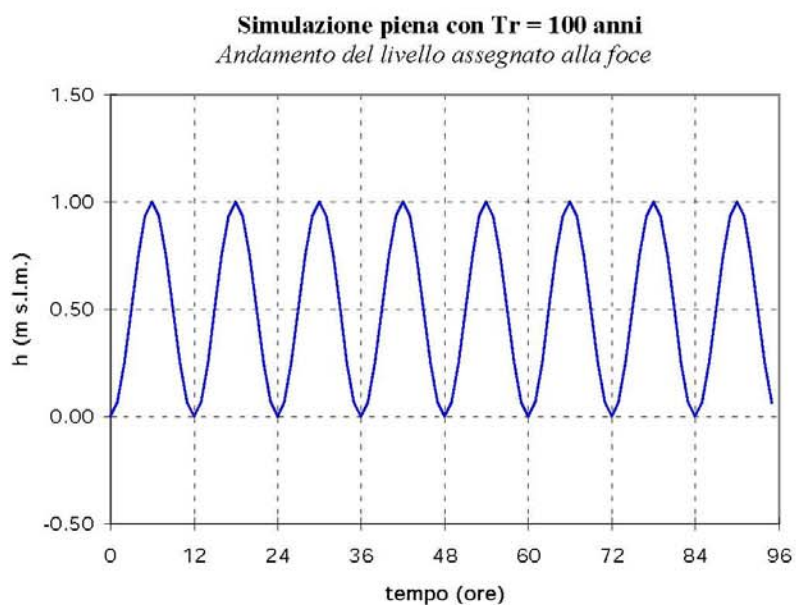


Fig. 11.20 - Andamento del livello di marea assegnato alla foce del Brenta e in laguna nella simulazione dell'evento di piena con $Tr = 100$ anni

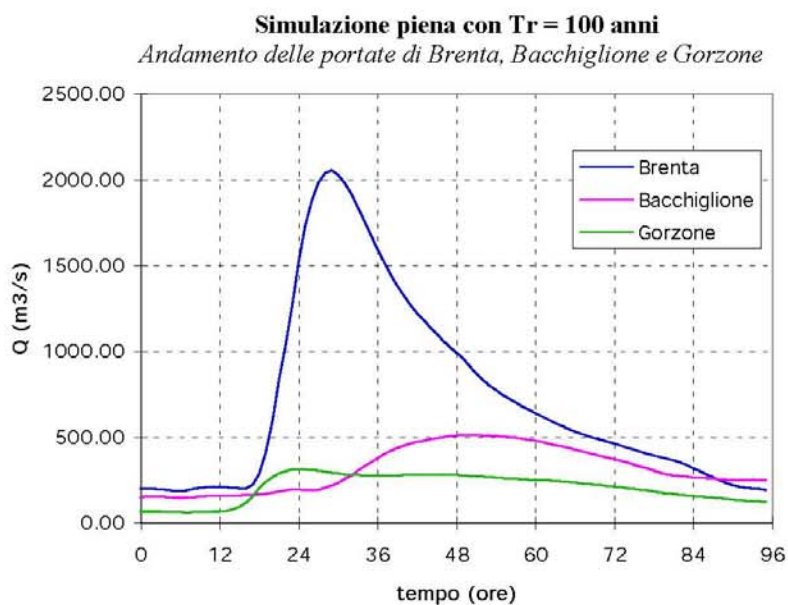


Fig. 11.21 - Andamento delle portate assegnate sulle sezioni di monte di Brenta, Bacchiglione e Gorzone nella simulazione dell'evento di piena con $Tr = 100$ anni

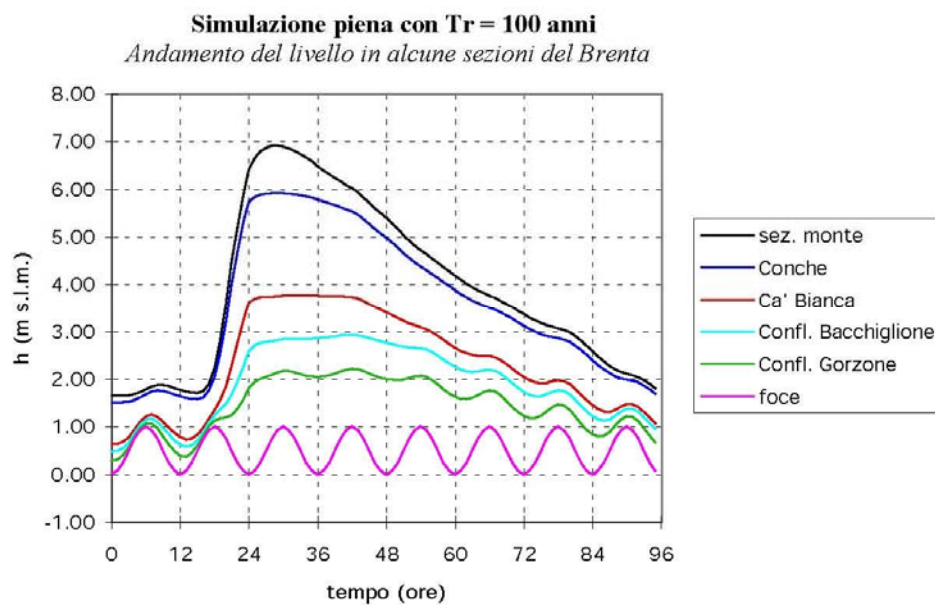


Fig. 11.22 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Brenta calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 100$ anni

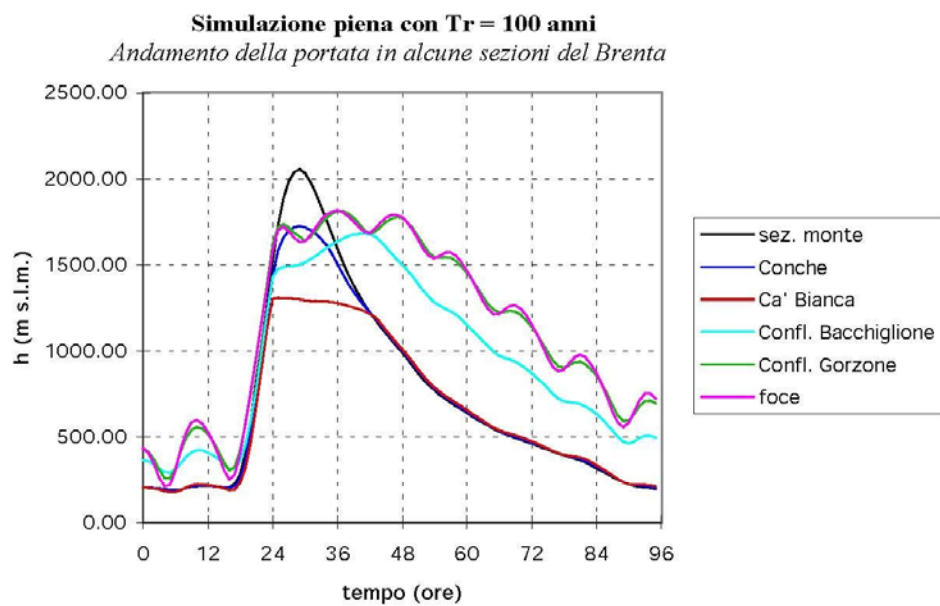


Fig. 11.23 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Brenta calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 100$ anni

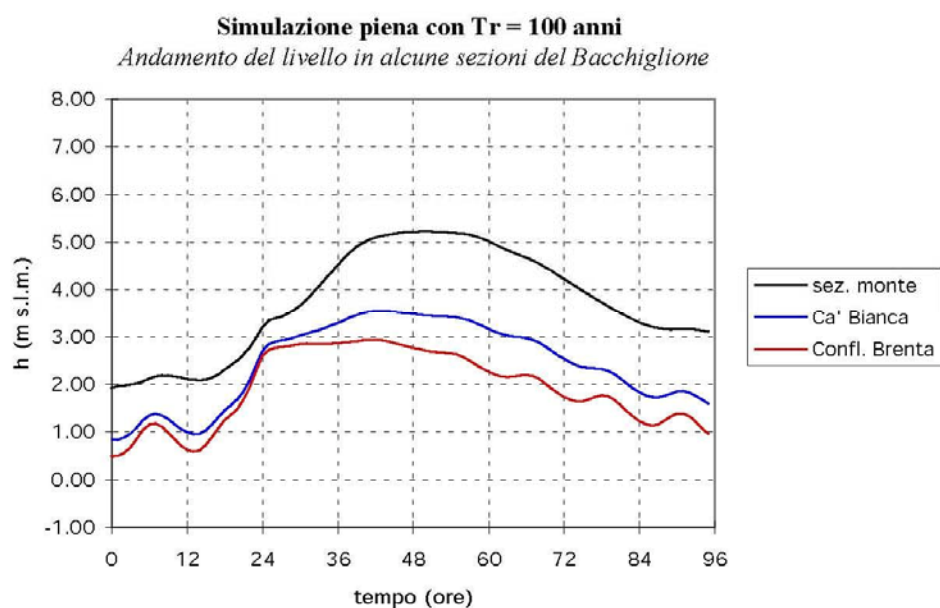


Fig. 11.24 - Andamento del livello in alcune sezioni del F. Bacchiglione calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 100$ anni

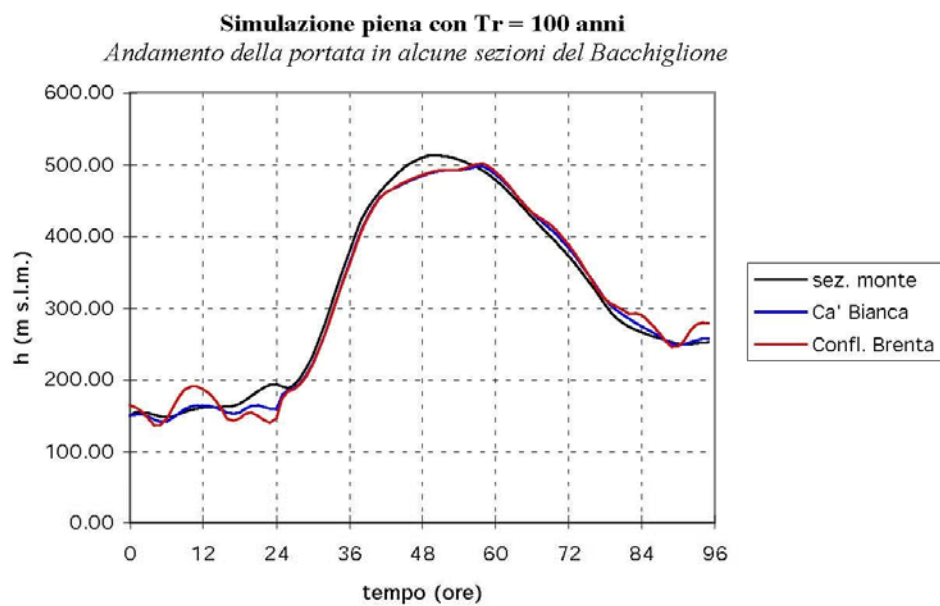


Fig.11.25 - Andamento della portata in alcune sezioni del F. Bacchiglione calcolato con il modello uni-bidimensionale nella simulazione della piena con $Tr = 100$ anni

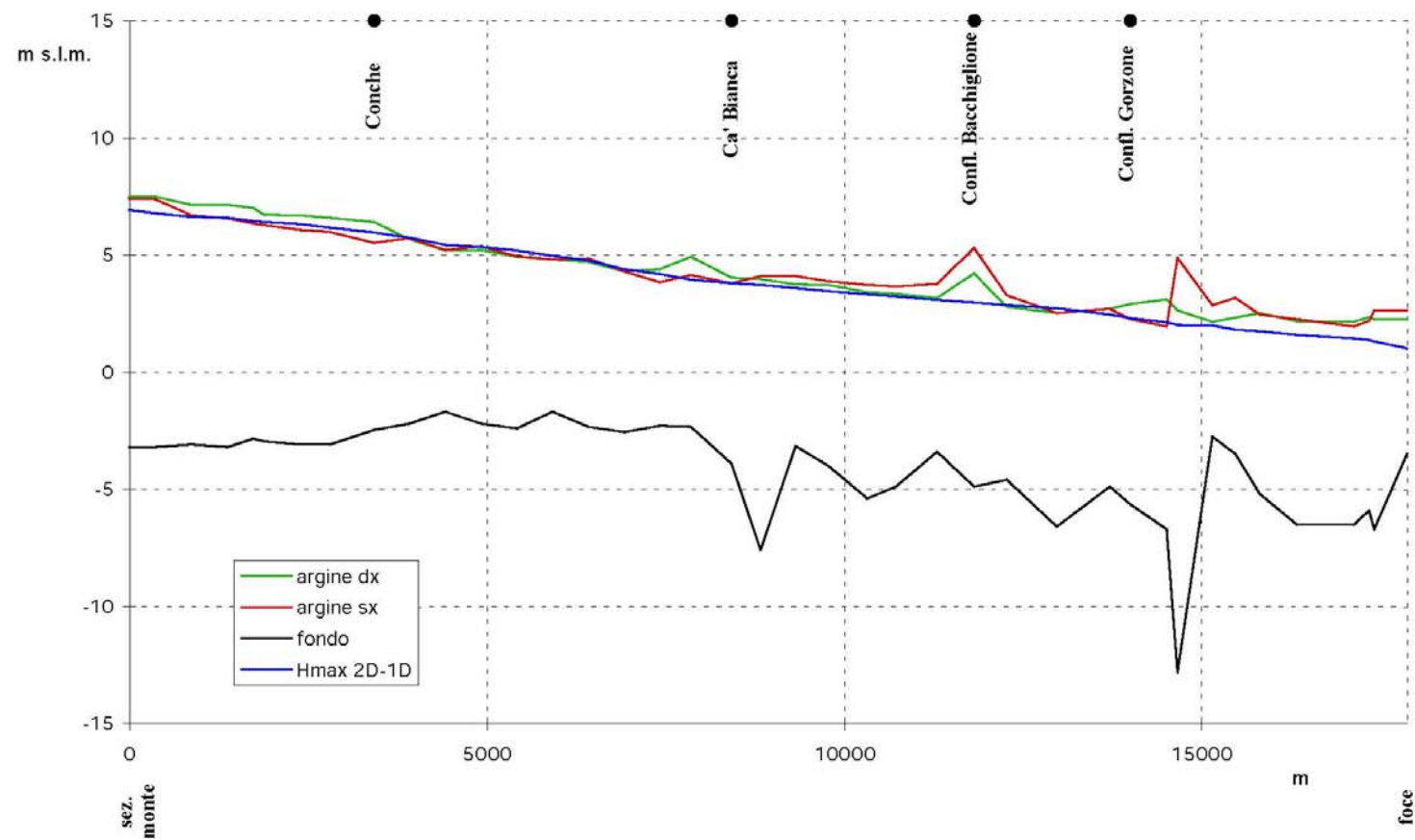


Fig. 11.26 - Profilo inviluppo dei livelli massimi lungo il Brenta calcolati nella simulazione dell'evento con tempo di ritorno pari a 100 anni

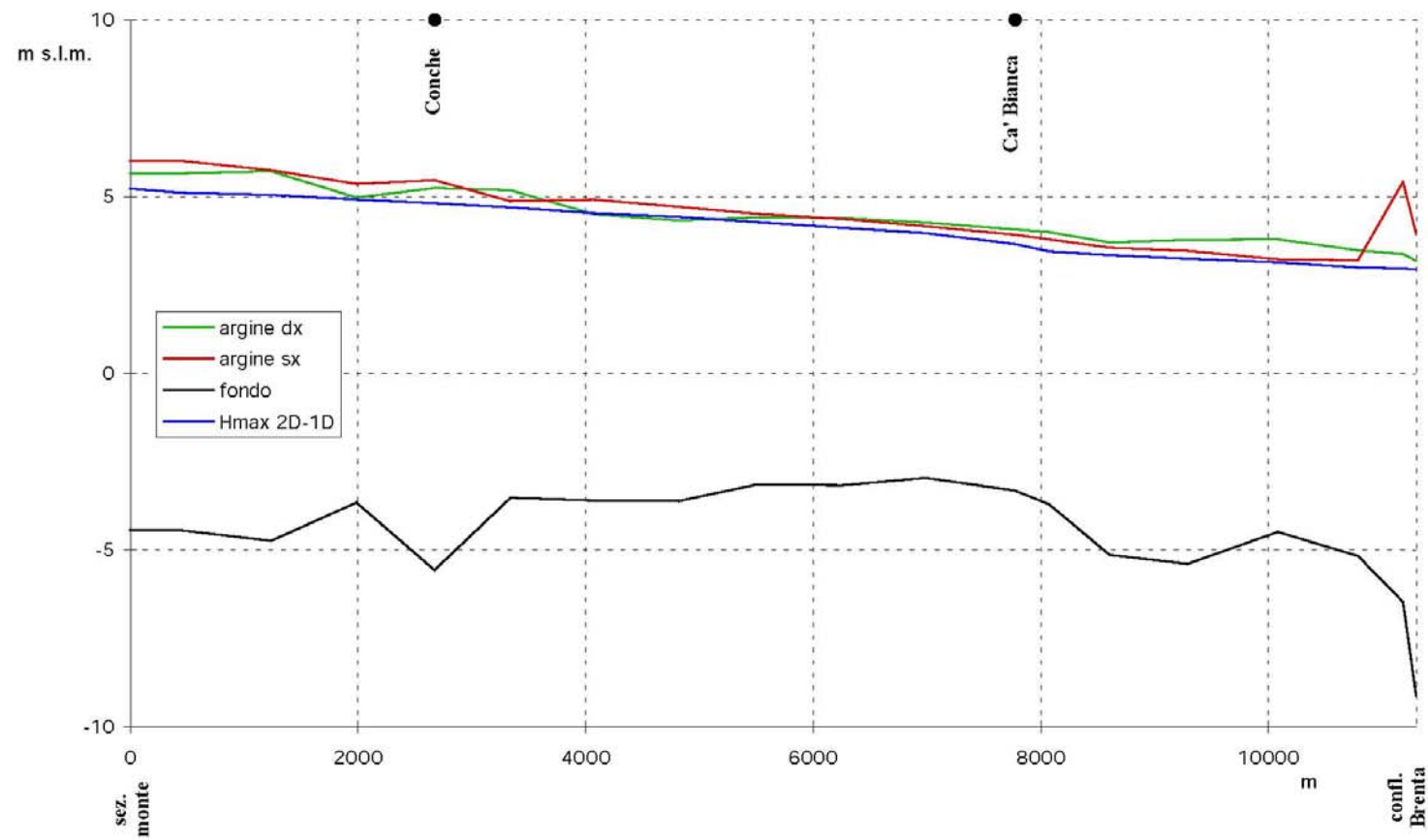


Fig. 11.27 - Profilo inviluppo dei livelli massimi lungo il Bacchiglione calcolati nella simulazione dell'evento con tempo di ritorno pari a 100 anni

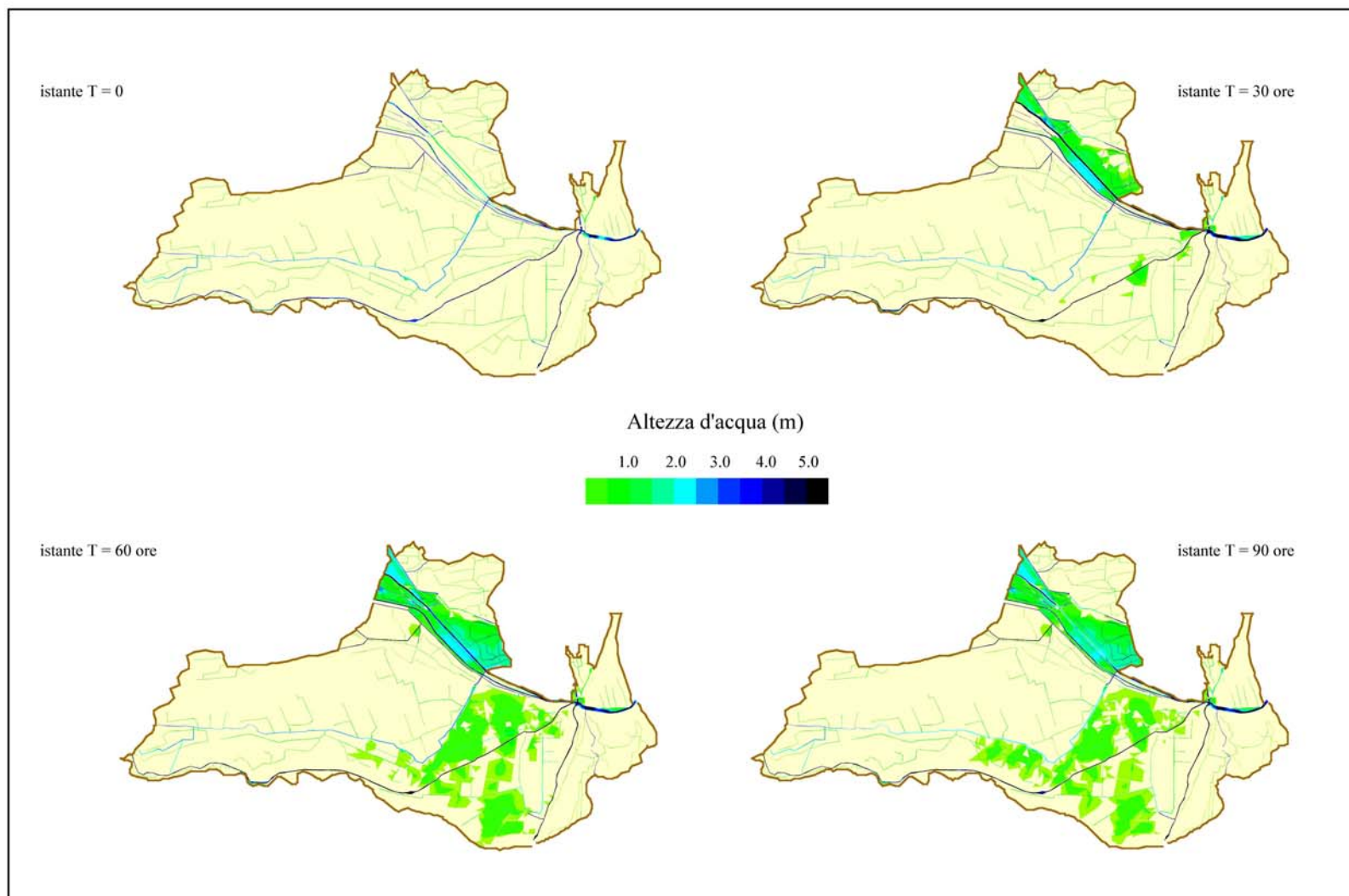


Fig. 11.28 - Bacino tra Brenta e Adige. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 100$ anni (caso B).

11.7 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

Il modello matematico uni-bidimensionale è stato applicato alla porzione del territorio della provincia di Venezia compresa tra l'Adige e la laguna di Venezia, al fine di indagare il comportamento idraulico dei tratti terminali dei fiumi Brenta e Bacchiglione con riferimento ad eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 50 e 100 anni, e di valutare gli effetti degli allagamenti sul territorio adiacente conseguenti ad eventuali esondazioni per sormonto delle sommità arginali.

La schematizzazione del territorio considerato è stata ottenuta estendendo il reticolo di calcolo già predisposto per conto della Provincia di Venezia nelle precedenti indagini riguardanti i bacini del C. dei Cuori e del C. Gorzone. La presente indagine costituisce dunque il necessario completamento di quelle precedenti al fine di considerare le condizioni di rischio idraulico nella parte meridionale della provincia derivanti dalle piene di Brenta e Bacchiglione.

L'estensione del modello ha, inoltre, consentito di verificare e completare le indagini relative alle possibili esondazioni del Gorzone. Infatti nello studio precedentemente svolto con il modello uni-bidimensionale erano emerse alcune incertezze sulla corretta assegnazione delle condizioni al contorno nella sezione terminale di questo corso d'acqua. Grazie all'inserimento nello schema anche del sistema Brenta-Bacchiglione in cui il Gorzone va a confluire, tali incertezze sono state ora eliminate, essendosi potuti considerare gli effetti di eventuali esondazioni dei due corsi d'acqua quantomeno nella loro parte terminale.

Nelle ipotesi assunte alla base dei calcoli, i risultati delle simulazioni hanno confermato quanto già riportato negli studi pregressi sull'argomento, assunti come riferimento, ossia che per eventi gravi il corso terminale dei corsi d'acqua considerati, e soprattutto del F. Brenta, appaiono insufficienti a contenere le massime portate fluenti, poichè i livelli idrometrici massimi che si stabiliscono possono portare a riduzioni del franco arginale oltre il limite di sicurezza e, in alcuni casi, anche alla tracimazione delle sommità arginali.

I calcoli sono stati eseguiti con riferimento ad ipotetici eventi di piena simultanei per Brenta e Bacchiglione, considerando alla foce una marea di sizigia con massimo a +1.0 m s.l.m. Nel caso del Brenta sono stati considerati, in corrispondenza della sezione di monte, idrogrammi di portata con valori al colmo pari a 1800 m³/s per la piena quinquantennale, e a 2050 m³/s per quella centenaria; nel caso del Bacchiglione i valori massimi di portata sono stati di poco meno di 450 m³/s per la piena quinquantennale, e di circa 510 m³/s per quella centenaria.

Gli idrogrammi assegnati sono stati ricavati dai risultati di un'indagine condotta per conto dell'Autorità di Bacino in cui le portate in arrivo sono valutate senza tener conto di possibili fenomeni di esondazione più a monte, che in particolare si possono verificare nel Brenta nel tratto tra Carturo e Limena.

Dallo stesso studio promosso dall'Autorità di Bacino sono state tratte anche le portate da assegnare al Gorzone, valutate per eventi con il medesimo tempo di ritorno di quelli considerati per Brenta e Bacchiglione.

Per gli altri corsi d'acqua che solcano il territorio considerato e che traggono alimentazione dai bacini di monte, si sono considerate in ingresso portate costanti, di entità paragonabili a quelle di una loro piena ordinaria.

Il funzionamento della rete idrografica minore presente sul territorio adiacente è stato descritto in condizioni ordinarie, senza considerare il contributo delle piogge dirette al suolo. In tali ipotesi i canali della rete minore possono fungere da vie preferenziali per la progressione degli eventuali allagamenti originati dai corsi d'acqua maggiori, favorendo l'avanzamento dell'onda di sommersione sul territorio. Nella fase di esaurimento della piena i canali

contribuiscono al prosciugamento dei territori allagati, convogliando le acque esondate verso gli impianti idrovori.

Le prime simulazioni, eseguite per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni, hanno messo in evidenza che nel tratto del Brenta compreso nel territorio della provincia di Venezia le arginature sia in destra che in sinistra idrografica risultano insufficienti per contenere la piena. Il modello segnala pertanto il sormonto delle arginature in più punti, con il conseguente allagamento dei territori adiacenti. I tratti che dai calcoli risultano maggiormente insufficienti si trovano tra Conche e Ca' Bianca, dove, sulla base dei dati geometrici assunti come riferimento, le quote delle sommità arginali del Brenta sono leggermente più depresse, mentre il fondo del fiume tende a rialzarsi, con riduzione delle sezioni liquide a parità di livello.

Gli allagamenti conseguenti ai sormonti arginali si espandono sia in sinistra Brenta, sulle campagne limitrofe alla laguna di Venezia (bacino Trezze) fino ad interessare l'abitato di Valli, sia in destra, nella fascia di territorio compreso tra Brenta e Bacchiglione. L'espansione dell'onda di sommersione è limitata poichè essa resta confinata, in sinistra, dai rilevati stradali e arginali presenti sul territorio, ovvero dalla S.S. Romea e dall'argine del C. Taglio Novissimo. L'altezza della lama d'acqua che si stabilisce sui territori allagati è considerevole poichè in alcuni casi supera i 2 m. Gli effetti degli allagamenti appaiono particolarmente gravi per il bacino Trezze, dove sulla base dell'ammontare del volume esondato e della portata massima dell'idrovora che serve questo territorio, è possibile stimare in circa 20 giorni il tempo necessario per prosciugare completamente le zone allagate. Per quanto riguarda le esondazioni in destra, le zone dovranno essere rivalutate dal punto di vista idraulico quando si disporrà di rilievi attuali e puntuali dell'area, occupata dalla discarica Cà Rossa.

Critiche risultano anche, per un evento come quello considerato, le condizioni del tratto terminale del Bacchiglione, dove, pur non verificandosi il sormonto delle arginature, le quote idrometriche massime raggiunte nel corso della piena sono tali da ridurre il franco arginale oltre i limiti di sicurezza.

E' particolarmente significativo, inoltre, il risultato che si ottiene per il Gorzone. Per tale corso d'acqua infatti, il concomitante arrivo dell'onda di piena da monte e i livelli idrometrici sostenuti che si stabiliscono nella sua sezione terminale per effetto della piena del Brenta, provocano per rigurgito il rialzo delle quote idrometriche e in alcuni tratti, in particolare all'altezza dell'abitato di Valcerere Dolfina, si arriva al sormonto delle sommità arginali. Da ciò deriva l'allagamento di vaste aree di territorio sia in destra, nei territori dei bacini di S. Pietro e delle Bebbe, sia in sinistra, nei bacini delle idrovore Punta Gorzone, Bacino Orientale e Foresto Centrale.

Tale risultato conferma sostanzialmente quanto emerso nel corso delle indagini precedentemente effettuate sul Gorzone, che avevano messo in evidenza la possibilità di esondazioni proprio negli stessi tratti qui individuati come critici.

Le simulazioni condotte per l'evento con tempo di ritorno pari a 100 anni, effettuate anch'esse considerando alla foce una marea di sizigia con massimo a +1.0 m s.l.m., confermano sostanzialmente i risultati del caso precedente, indicando che i fenomeni di allagamento provocati dall'esondazione del Brenta si sviluppano con modalità analoghe, seppur amplificati nella loro intensità.

Per questa situazione il modello segnala che possono verificarsi esondazioni anche lungo le arginature del Bacchiglione. Il tratto maggiormente critico si trova tra Conche e Ca' Bianca, dove le quote idrometriche massime che si stabiliscono al passaggio della piena superano in qualche punto le sommità arginali in destra idrografica. Le portate che fuoriescono a seguito

delle tracimazioni e nelle ipotesi che non vi siano rotte arginali sono tuttavia di entità modesta e l'onda di sommersione conseguente resta confinata tra il Bacchiglione stesso e l'argine del collettore che lo affianca, denominato C. Morto.

Particolarmente critiche risultano le condizioni dei territori adiacenti al tratto terminale del Gorzone, che sono interessate da diffusi allagamenti, originati in parte da esondazioni del Gorzone stesso, all'altezza di Valcerere Dolfina, in parte da ulteriori esondazioni del Brenta nel tratto tra Ca' Pasqua e Brondolo.

Come è stato già messo in evidenza nelle ricordate indagini condotte per conto della Provincia, le possibili insufficienze del tratto terminale del Gorzone per eventi come quello considerato pongono in condizioni di grave rischio idraulico il territorio ad esso adiacente, con conseguenze gravose soprattutto perchè esso è posto a quota inferiore anche di alcuni metri al livello medio del mare e lo smaltimento di eventuali allagamenti risulterebbe lento e difficoltoso.

E' da evidenziare inoltre che, dato che le arginature del Gorzone stesso sovrastano di diversi metri le campagne adiacenti ed in alcuni tratti lo stesso letto del fiume risulta pensile, l'eventualità di una rotta che si accompagni, come quasi sempre accade, al sormonto delle arginature, porterebbe a conseguenze molto gravi. Ad esempio, l'ipotesi di una rotta sull'arginatura destra del Gorzone all'altezza di Valcerere Dolfina potrebbe portare, come è stato ampiamente illustrato nelle indagini precedenti, alla sommersione di gran parte del territorio compreso tra Adige, Gorzone e C. di Valle, con una lama d'acqua di altezza rilevante.

Va sottolineato infine che, essendo i possibili stati di insufficienza del corso terminale del Gorzone principalmente legati alle piene che simultaneamente possono interessare il sistema Brenta - Bacchiglione, eventuali interventi di rinforzo e rialzo delle arginature di questi fiumi nel loro tratto terminale che consentano di aumentarne la capacità di portata, dovranno necessariamente accompagnarsi ad analoghi interventi sul Gorzone.

12. APPLICAZIONE DEL MODELLO ALLA PARTE MERIDIONALE DEL TERRITORIO PROVINCIALE

12.1 Caratteri idraulici del territorio

La presente applicazione del modello matematico costituisce il completamento delle indagini precedentemente condotte sulla parte meridionale della provincia, nel territorio potenzialmente allagabile dalle maggiori piene del sistema Brenta – Bacchiglione e Gorzone [4], [5], [6].

In questo caso le simulazioni sono state estese anche alla porzione del territorio provinciale posta a sud dell'Adige stesso, limitando peraltro le valutazioni ai possibili episodi di allagamento originati dalla rete minore della bonifica, senza considerare il rischio derivante dalla presenza del fiume maggiore.

Il comprensorio individuato è delimitato, sul lato settentrionale, dall'argine destro dell'Adige. La S.P. 30 e l'argine destro del Naviglio Adigetto ad ovest, la sponda sinistra del Canalbiano a sud e l'argine sinistro del Canale di Loreo ad est completano i confini del comprensorio, la cui estensione è di circa 83 km².

Come nei casi precedenti, i limiti del dominio di calcolo sono stati assunti in corrispondenza dei rilevati stradali e dei corpi arginali dei corsi d'acqua che presumibilmente possono contenere la propagazione delle acque in caso di esondazione.

La superficie così individuata è inclusa nei bacini idrografici Tartaro Osellin e Dossi Vallieri, tributari del Po di Levante, la cui gestione idraulica è affidata al Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canalbiano con sede a Rovigo. Le seguenti Fig. 12.1, 12.2 forniscono una rappresentazione degli elementi principali che caratterizzano questo territorio. Nel seguito si fornisce una breve descrizione del sistema idrografico considerato.

12.1.1 Bacino Tartaro Osellin

Il bacino Tartaro Osellin, si estende su una superficie territoriale di circa 40 km² e si colloca nella porzione settentrionale del comprensorio, tra il fiume Adige, a nord, lo scolo Botta (canale irriguo), a sud, e il C. di Loreo, a est, interessando i comuni di Cavarzere e Loreo (quest'ultimo in Provincia di Rovigo). Il bacino, il cui drenaggio avviene interamente a scolo meccanico, è suddiviso in vari bacini elementari (sottobacini), che fanno capo all'idrovora Osellin, che a sua volta scarica nel C. di Loreo. Esso presenta una rete idraulica non arginata e gestita interamente dal Consorzio. Recenti interventi di sistemazione idraulica attuati a cura dello stesso Consorzio hanno da una parte esteso la superficie del bacino includendo in esso un'area posta a sud dello scolo Botta (Ca' Negra), dall'altra hanno ridotto sostanzialmente le portate a carico dell'idrovora Osellin realizzando un manufatto sottopassante il canale di Loreo, in grado di convogliare la maggior parte delle portate stesse verso il bacino Vallona che a sua volta scarica nel Po di Brondolo.

L'altimetria del bacino varia in maniera molto graduale da una quota massima sul livello medio del mare di circa 2 m, nelle parti settentrionale ed occidentale, sino ad una quota minima di circa -3.5 m s.l.m., in corrispondenza dell'impianto idrovoro terminale.

L'unico centro abitato di una certa dimensione su questo territorio è costituito dal paese di Cavarzere. Tale centro risulta peraltro scarsamente interessato dai problemi di allagamento legati alla rete della bonifica poiché esso si colloca nella zona altimetricamente più elevata e quindi più sicura. Future applicazioni del modello potrebbero essere effettuate, nel caso si rendessero disponibili i dati necessari, per valutare la situazione di rischio idraulico di Cavarzere e di tutto

questa parte del territorio provinciale per effetto delle maggiori piene dell'Adige, con particolare riferimento, ad esempio, ai punti critici costituiti dai ponti stradali e da quello ferroviario.

12.1.2 Bacino Dossi Vallieri

Il bacino Dossi Vallieri, si estende su una superficie territoriale di circa 43 km² e si colloca nella porzione del comprensorio a sud dello scolo Botta, interessando, anch'esso, il territorio dei comuni di Cavarzere e di Loreo. La rete idraulica è, anche in questo caso, costituita essenzialmente da canali non arginati e in gestione al Consorzio. Il drenaggio delle campagne avviene come nel caso precedente a scolo interamente meccanico, mediante l'omonimo impianto idrovoro che scarica nel Canalbianco. Sul territorio sono presenti alcune altre idrovore di primo salto.

Per tutte le idrovore i dati essenziali di funzionamento sono riportati in Tab. 12.1. La tabella contiene i valori delle massime portate che possono essere sollevate da ciascun impianto, ricavati sulla base delle indicazioni fornite dal Consorzio stesso, e le quote di attacco e stacco dei gruppi pompa, che sono state stimate in base alle informazioni raccolte sul funzionamento idraulico dei collettori della bonifica e che sono state adottate nella modellazione.

Il bacino presenta un andamento altimetrico variabile tra quote di circa 1 m s.l.m. e di circa – 3.5 m s.l.m.. Le aree altimetricamente più elevate sono quelle situate in prossimità della località Botti Barbarighe, sul limite occidentale, mentre quelle altimetricamente più depresse si trovano in corrispondenza della località Forcarignoli, nella parte centrale del bacino, in prossimità dell'idrovora omonima.

Nel bacino non sono presenti centri di rilevanti dimensioni ad eccezione del paese di Loreo, situato in comune di Rovigo, e del piccolo centro di Grignella, situato a sud, a ridosso del C. Adigetto.

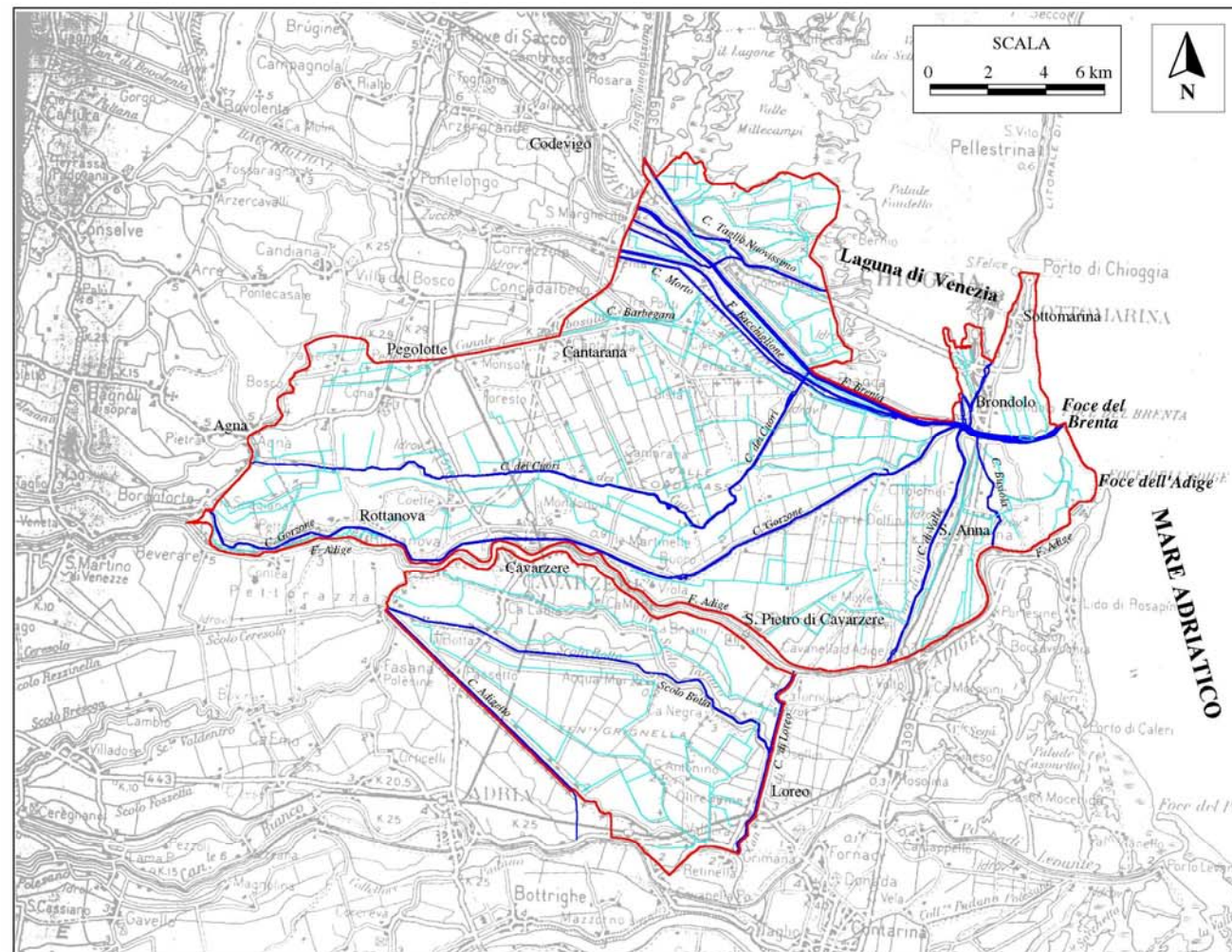


Fig.12.1 - Corografia della parte meridionale del territorio provinciale con indicazione della porzione considerata a completamento delle indagini.

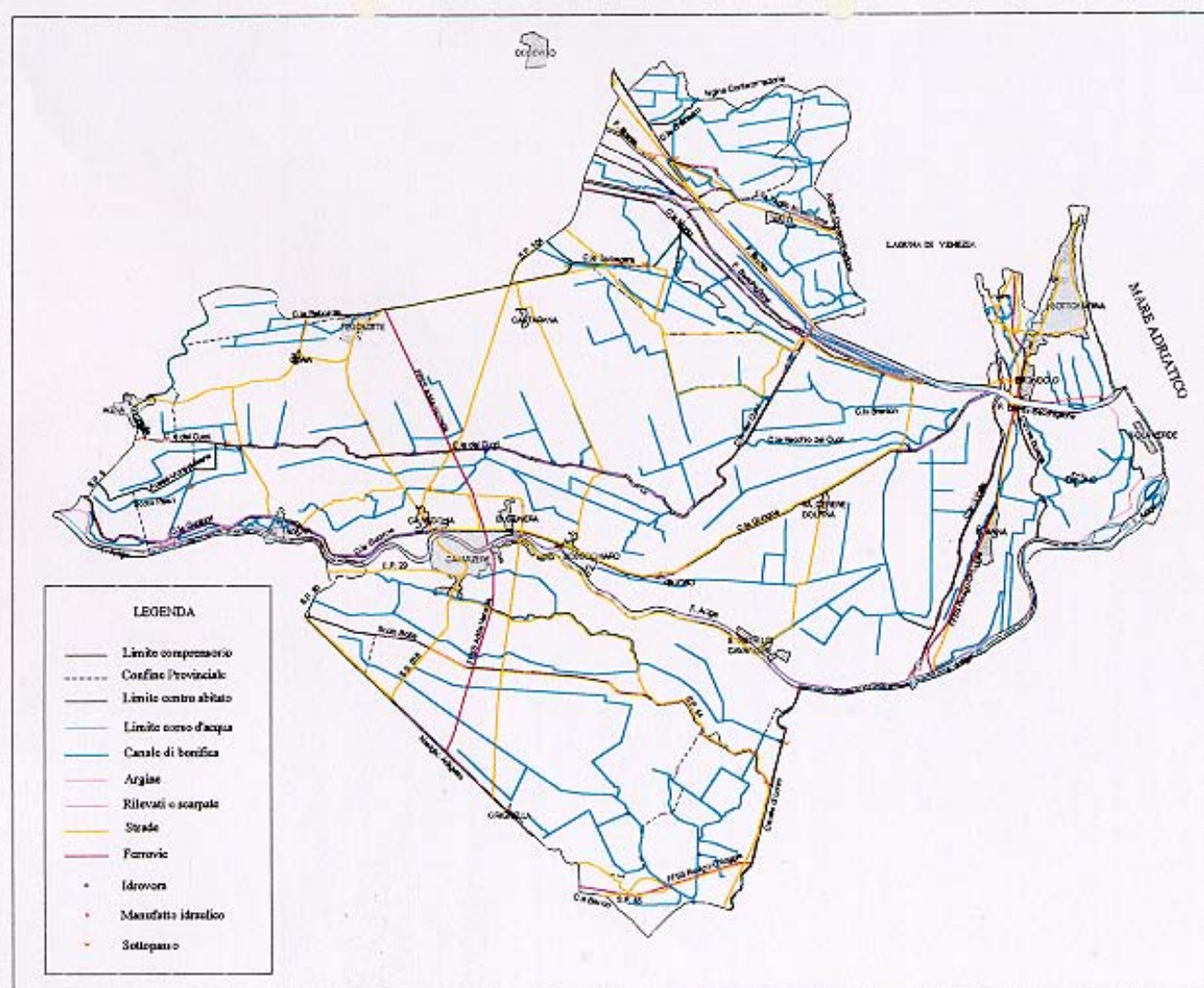


Fig.122 - Schematizzazione del territorio considerato nell'indagine a completamento della parte meridionale della provincia.

12.2 Schematizzazione del territorio con il modello matematico

Come nei casi precedenti la morfologia del territorio è stata modellata, secondo la metodologia illustrata nel Capitolo 2, mediante elementi bidimensionali ed unidimensionali.

Elementi bidimensionali di dimensioni maggiori sono stati utilizzati per descrivere le aree di campagna, mentre elementi di dimensioni minori (fino a circa 10 m di lato) sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da variazioni altimetriche più sensibili, quali i rilevati (strade, ferrovie o altro) o gli alvei dei corsi d'acqua principali (il Canale Adigetto, lo Scolo Botta ed il Canale di Loreo). Lo stesso Fiume Adige, pur non essendo stato incluso, come si è detto, nelle simulazioni, è stato schematizzato con una fila di elementi bidimensionali in modo tale da predisporre il modello nel caso si volesse in futuro utilizzarlo anche per effettuare delle valutazioni sul rischio idraulico derivante dalle maggiori piene di questo fiume.

Gli elementi unidimensionali sono stati a loro volta utilizzati per descrivere i canali della rete di bonifica in base alle informazioni reperite presso il locale Consorzio (Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canalbiano).

Tronchi speciali di tipo “soglia sfiorante” sono stati utilizzati, infine, per descrivere il flusso al di sopra degli argini dei corsi d'acqua principali nell'eventualità che si dovesse verificare la tracimazione o il cedimento degli argini stessi.

La Fig. 12.2 riporta la planimetria del bacino nella schematizzazione adottata per il modello, con l'indicazione dei principali collettori di ciascun sottobacino e della posizione dei sopra citati impianti idrovori. Anche in questo caso il riferimento plano-altimetrico principale per la costruzione del modello matematico è costituito dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, della quale sono stati acquisiti tutti gli elementi relativi al territorio indagato in formato sia raster che vettoriale. Il piano quotato della Carta Tecnica ha consentito sia la suddivisione del dominio in elementi bidimensionali e unidimensionali, sia l'assegnazione delle quote altimetriche agli elementi bidimensionali. Con i files raster, inoltre, georeferenziati nello stesso sistema di riferimento della CTR, è stata costituita una base grafica sulla quale è stato digitalizzato il tracciato di tutti gli elementi morfologici rilevanti ai fini delle elaborazioni (Fig. 12.2). In particolare sono stati digitalizzati, oltre ai confini del comprensorio, i limiti dei centri abitati ed i tracciati degli elementi principali della rete viaria, selezionando tutti i rilevati ferroviari e le strade provinciali la cui conformazione, in rilevato rispetto alla campagna circostante, può verosimilmente costituire un significativo ostacolo alla propagazione dell'onda di sommersione sul terreno.

Per una migliore lettura degli elementi principali appena descritti, della Fig. 12.2 è riportata una rappresentazione in scala 1:50.000 nella allegata Tav.7.

Il reticolo di calcolo risultante dalla schematizzazione è rappresentato in Fig. 12.3 e, in scala 1:50000 nell'allegata Tav.8.

Complessivamente lo schema risulta composto da 2146 nodi, 3639 elementi bidimensionali, 312 elementi unidimensionali, 200 tronchi speciali e 6 idrovore.

La Fig. 12.4 riporta una rappresentazione a colori della distribuzione delle quote assegnate agli elementi della mesh di calcolo, da cui si può rilevare la succitata conformazione dell'altimetria del territorio.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione idraulica del sistema, sono del tutto analoghi a quelli utilizzati nei casi precedentemente esaminati. Si è pertanto adottato un coefficiente di scabrezza secondo Strickler di $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli alvei dei corsi d'acqua principali (schematizzati, cioè, con elementi bidimensionali), mentre valori di scabrezza pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ sono stati adottati per i canali unidimensionali, valori pari a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ sono stati

assunti per gli elementi in rilevato (rispettivamente strade e ferrovie), e $16 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per la restante parte del territorio (campagne, centri abitati).

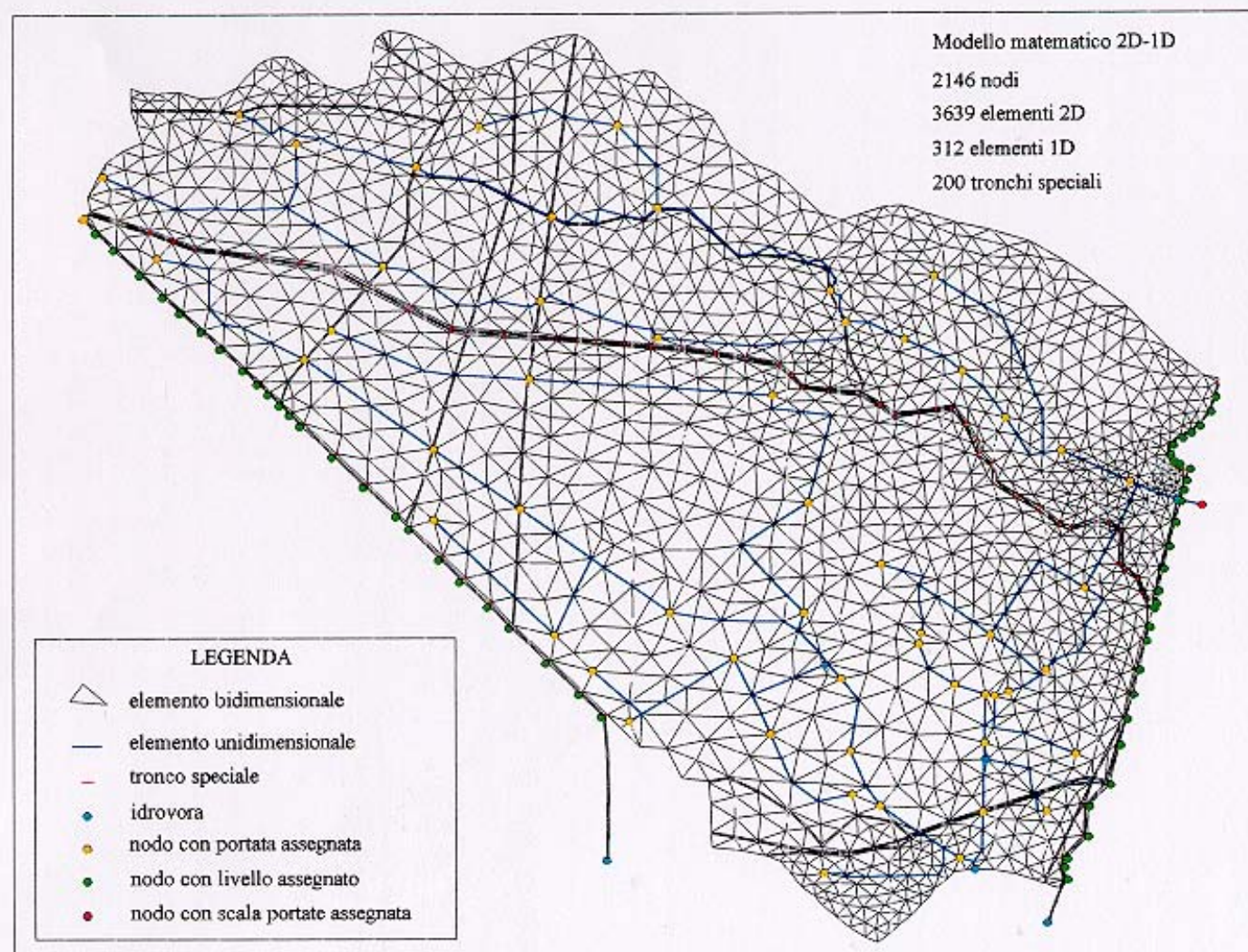


Fig.12.3 - Applicazione alla parte meridionale del territorio. Reticolo di calcolo del modello uni-bidimensionale

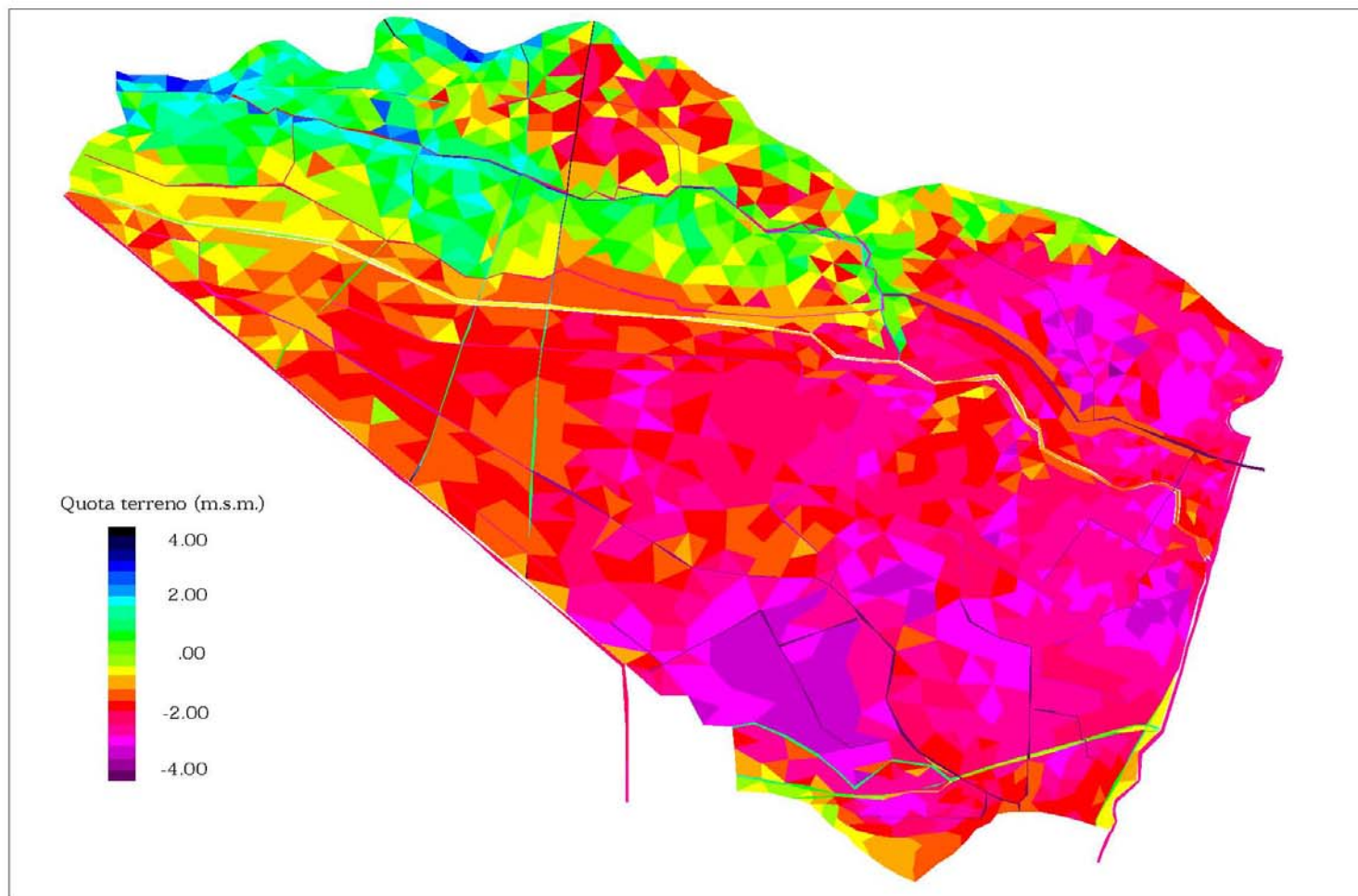


Fig. 12.4 - Modello matematico uni-bidimensionale del territorio provinciale a sud dell'Adige.
Schematizzazione della altimetria del territorio con il modello matematico.

12.3 Condizioni al contorno

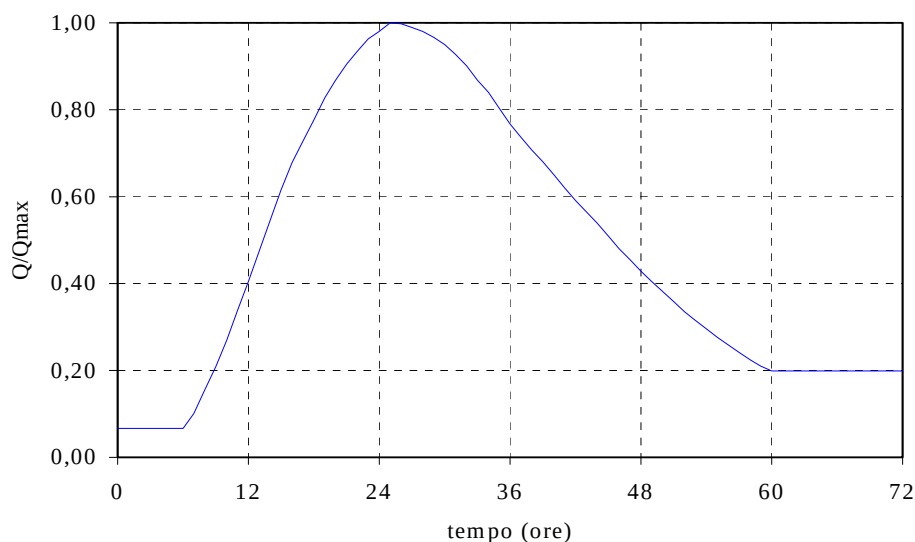
12.3.1 *Stima delle portate massime nei canali della rete idrografica*

Le condizioni al contorno necessarie per le simulazioni numeriche consistono principalmente, come di consueto, nell'assegnazione dell'andamento delle portate entranti nel sistema in corrispondenza di nodi prefissati. In tale modo è possibile simulare il contributo delle varie superfici scolanti al riempimento della rete.

Nel caso del bacino in esame, le simulazioni sono state effettuate considerando il funzionamento idraulico in piena della rete principale della bonifica, facente capo alle idrovore che scaricano nel sistema del Po di Levante, nell'ipotesi che, contemporaneamente, si verifichi una piena anche nel Canale Adigetto, che scorre lungo il limite sud-occidentale del comprensorio.

I valori dei coefficienti udometrici relativi ad ogni sottobacino e le corrispondenti portate al colmo (per un tempo di ritorno ventennale) sono stati ricavati sulla base dei dati forniti dal Consorzio di Bonifica e sono riportati nella Tab. 12.2. Per valutare l'idrogramma di piena da assegnare sui nodi di immissione delle portate, si è assunta, in prima approssimazione l'ipotesi, ritenuta accettabile data la limitata estensione dell'area di indagine, che la forma dell'idrogramma fosse la medesima per tutti i contributi. A tale scopo, è stato utilizzato, in forma adimensionale, lo stesso idrogramma utilizzato per le analoghe indagini effettuate sul vicino bacino del Canale dei Cuori [4] e di seguito riportato in Fig. 12.5.

Fig. 12.5 – Andamento dell'idrogramma di riferimento utilizzato nelle simulazioni



Anche per il Canale Adigetto è stato ipotizzato che il contributo proveniente da monte vari nel tempo secondo il medesimo andamento dell'idrogramma di Fig. 12.5. In tale caso, l'idrogramma stesso è stato amplificato in modo che esso raggiunga un valore di portata al colmo pari a $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nelle sopra citate Fig. 12.3 e Tav. 8 sono evidenziati i 57 nodi del reticolo di calcolo ai quali sono state associate le immissioni di portata secondo la ripartizione indicata in Tab. 12.2.

A completamento della descrizione delle condizioni al contorno assegnate, si fa presente che, nelle simulazioni, si è previsto che il Canale Botta (irriguo) e il Canale di Loreo, entrambi arginati e pensili, non siano idraulicamente connessi con gli altri corsi d'acqua del sistema. In pratica, nelle simulazioni, tali canali funzionano come dei corpi idrici statici, ai quali è assegnato inizialmente un tirante idrico uniforme che simula una situazione di quasi completo riempimento, che viene mantenuta per tutto il corso della simulazione.

12.3.2 Contributo degli impianti idrovori allo smaltimento delle portate di piena

Il collegamento tra i canali delle reti a scolo meccanico e i collettori principali è stato descritto nel modello introducendo una serie di tronchi speciali che simulano il funzionamento degli impianti idrovori. Per ciascun impianto, i dati che ne descrivono il funzionamento sono costituiti dal numero di gruppi pompa installati, dalla portata sollevata da ciascuno di essi e dalle relative quote idrometriche di attacco e stacco. La già menzionata tabella 12.1 riporta tali dati per gli impianti del comprensorio utilizzati nei calcoli. Le portate indicate sono state tratte dai dati resi disponibili dal Consorzio di Bonifica. Le quote di attacco e stacco degli impianti sono state in parte tratte dai dati forniti dal Consorzio, in parte, nei casi in cui tali dati non sono risultati disponibili, stimate sulla base delle caratteristiche dei tratti terminali dei collettori.

12.4 Caso A - Simulazione di un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni

12.4.1 Condizioni al contorno

Utilizzando il reticolo uni-bidimensionale e le condizioni al contorno descritti ai punti precedenti, mediante il modello matematico sono state condotte alcune simulazioni considerando eventi di piena che, anche sulla base delle indicazioni fornite dai tecnici del Consorzio, possono essere ritenuti critici per la sicurezza idraulica del comprensorio in esame. L'analisi ha preso innanzi tutto in considerazione la propagazione nella rete di un evento di piena valutato come illustrato al punto precedente, il cui tempo di ritorno può essere stimato pari a circa 20 anni.

Gli idrogrammi di piena da assegnare sui nodi dei corsi d'acqua della rete minore, sono stati ottenuti utilizzando i valori massimi indicati in Tabella 6.2, e gli andamenti nel tempo illustrati nella Fig. 12.5. Per quanto riguarda il C. Adigetto, è stato ipotizzato, come già si è detto, un idrogramma entrante a monte avente valore al colmo pari a $30 \text{ m}^3/\text{s}$. A valle, il deflusso nel canale è a sua volta regolato dal funzionamento dell'idrovora di Voltascirocco (quasi $27 \text{ m}^3/\text{s}$), che scarica nel Canalbianco.

Una prima simulazione (A.1) ha considerato il funzionamento della rete nelle condizioni descritte, mentre una seconda simulazione (A.2) ha preso in considerazione condizioni analoghe alle precedenti, ma aggravate dall'ipotesi del possibile cedimento di un tratto arginale del C. Adigetto a monte dell'attraversamento ferroviario della linea Adria Venezia, dove il deflusso delle portate di piena incontra un ostacolo a causa del restringimento della sezione.

La durata complessiva delle simulazioni è di 72 ore. L'intervallo temporale di integrazione adottato è di 5 s, per un totale di 51840 passi di calcolo.

12.4.2 Caso A.1

Con riferimento alla simulazione A.1, vengono di seguito riportati alcuni diagrammi significativi sui risultati ottenuti.

La Fig. 12.6 riporta l'andamento dei livelli e delle portate calcolati per una sezione posta sul canale d'arrivo dell'idrovora Dossi Vallieri. Il diagramma che riporta la variazione dei livelli nel tempo (Fig. 12.6 in alto), illustra la sequenza di attacchi e stacchi delle idrovore simulata dal modello. Per quanto riguarda invece la variazione delle portate nel tempo (Fig. 12.6 in basso) si nota la portata massima sollevata è di poco superiore ai $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (a fronte di una potenzialità massima dell'impianto di circa $9 \text{ m}^3/\text{s}$), indicando che nel corso dell'evento simulato sono entrati in funzione solo due dei tre gruppi presenti. Tale risultato, probabilmente non corretto, dipende verosimilmente dalle quote di attacco e stacco delle pompe, assegnate nel calcolo sulla base di una stima. Nella realtà invece, tali quote possono variare a seconda delle esigenze del caso in modo da alleggerire quanto più possibile la rete a monte, non essendo il funzionamento dell'impianto asservito ad un sistema di controllo automatico.

La Fig. 12.7 descrive invece l'andamento dei livelli e delle portate nel Canale Adigetto per una sezione posta a monte ed una posta a valle dell'attraversamento ferroviario della linea Adria Mestre. Tale tratto è stato scelto perché la restrizione nella sezione d'alveo (che passa da 26 a 15 metri) in corrispondenza dell'attraversamento, lo rende potenzialmente critico in caso di una piena straordinaria. Nel caso in esame, i massimi livelli che si registrano a monte sono pari a circa 2.20 m s.l.m., quindi inferiori di circa 30 centimetri alla sommità arginale (posta, per tutto il tratto in esame a +2.50 m s.l.m.), mentre i valori di portata massima, sempre per la sezione a monte del ponte, sono di circa $27.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

La Fig. 12.8 riporta una sequenza di immagini che illustra con una scala di colori la distribuzione delle altezze d'acqua calcolata con il modello in diversi istanti successivi della simulazione. Tali immagini sono estratte dalle sequenze generate dal modello matematico, che consentono di visualizzare in forma di animazione i risultati del calcolo.

La prima immagine, relativa all'istante $T=30$ ore della simulazione, mostra esondazioni localizzate in corrispondenza delle zone Fossa Forcarignoli - Canale Interessati, Fossa Osellin, Scolo Curiolo (con lame d'acqua massima di circa 15 cm sul terreno). Valori confrontabili con questi allagamenti si registrano nei dintorni del Fosso delle Madonne, dove vi sono dei terreni particolarmente depressi (cfr. Fig. 12.4). Allagamenti più rilevanti, soprattutto in termini di tirante d'acqua (fino a 50 cm), si registrano in corrispondenza alla parte mediana della Fossa di Partizione, anche qui dove l'altimetria dei terreni è particolarmente depressa.

La seconda immagine, relativa all'istante $T=40$ ore, mostra l'ulteriore espansione di alcune aree già allagate: verso sud-est in corrispondenza della zona Fossa Forcarignoli – Canale Interessati che vanno ad estendersi fino al rilevato stradale situato a nord della ferrovia Rovigo Choggia (cfr. Fig 12.2). Allagamenti più estesi si ravvisano anche nei pressi della Fossa Osellin e della Fossa delle Madonne, pur tuttavia con tiranti limitati. Permangono invece allagamenti sui terreni adiacenti alla Fossa di Partizione con lame d'acqua più significative. Rientrano infine le esondazioni sui terreni circostanti ai corsi d'acqua a nord-ovest del comprensorio (Scolo Curiolo).

La terza immagine, relativa all'istante $T=55$ ore, mostra una situazione transitoria, del tutto analoga alla precedente.

La quarta ed ultima immagine, relativa all'istante $T=70$ ore, riporta una situazione ormai stabilizzata nei tiranti d'acqua relativi ai terreni, con allagamenti delineati e ben delimitati da parti alte (es. zona Forcarignoli-Interessati sopra citata ma anche Fossa di Partizione dall'argine destro dello Scolo Botta).

Da un'analisi completa di tutto il comprensorio sembra comunque che le zone dove, in base al calcolo, i tiranti d'acqua raggiungono i loro massimi valori siano quelle poste a nord dell'abitato di Loreo (canali Fossa Ca' Negra, Fossa Osellin), senza peraltro interessare l'abitato. Va detto, al riguardo, che l'abitato di Loreo soffre, in base alle indicazioni raccolte, di una permanente condizione di rischio idraulico, anche grave, derivante però dal pericolo di esondazioni del C. di Loreo. In questa indagine tale situazione non è però presa in considerazione poiché, interessando esclusivamente aree poste in provincia di Rovigo, esula dagli scopi previsti.

A conclusione di questa prima simulazione pare opportuno soffermarsi sui risultati ottenuti e in particolare sugli allagamenti che conseguono all'esondazione di alcuni corsi d'acqua relativi alla rete minore. Alcuni di questi, come osservato dal Consorzio di Bonifica che li gestisce, risultano effettivamente insufficienti per una portata avente tempo di ritorno di 20 anni. Ma altri limiti possono essere ravvisati nell'accuratezza della simulazione, in particolare per quel che riguarda la schematizzazione dell'altimetria del terreno, fatta sulla base della CTR. Poiché infatti ad ogni elemento bidimensionale si assegnano quote medie ricavate dai dati cartografici, il modello altimetrico risultante potrebbe risentire di eventuali punti singolari particolarmente depressi nelle immediate adiacenze dei canali, con ovvie conseguenze sulla valutazione delle esondazioni. Più accurati risultati sulla sufficienza della rete di bonifica potrebbero essere ottenuti verificando con un'indagine di dettaglio, da effettuarsi in collaborazione con il locale Consorzio di Bonifica, la correttezza dei dati geometrici e topografici assunti alla base dei calcoli.

Infine vi è da osservare che le immissioni di portata nella rete di bonifica, per quanto suddivise in più di 50 punti diversi, sono in ogni caso schematizzate dal modello come

immissioni concentrate. Per i canali minori, aventi dimensioni esigue perché destinati a convogliare portate ridotte, tali punti di immissione possono provocare esondazioni locali non realistiche che poi si propagano nel territorio circostante.

12.4.3 Caso A.2

Una seconda simulazione è stata condotta mantenendo inalterate le condizioni iniziali e al contorno rispetto al precedente caso A.1, ma ipotizzando un cedimento arginale del Canale Adigetto in sinistra a monte dell'attraversamento ferroviario della linea Adria Venezia. A tal proposito è stato previsto che a partire dall'istante $t=32$ ore della simulazione (istante nel quale viene raggiunto il massimo livello) si determini una breccia arginale nella sponda sinistra dell'Adigetto per un'estesa di 15 metri, tale per cui in tre ore la quota della sommità arginale passi da + 2.50 m s.l.m. a +0.50 m s.l.m..

La Fig. 12.9 riporta, in analogia alla precedente Fig. 12.7, l'andamento dei livelli e delle portate nel tempo entro il Canale Adigetto nelle stesse sezioni descritte in precedenza. Osservando, in particolare, l'andamento dei livelli e confrontandolo con il corrispondente diagramma della simulazione A.1, si può notare una sostanziale diminuzione dei valori di livello a partire dall'istante di inizio del cedimento, sia per la sezione di monte sia per quella posta a valle dell'attraversamento ferroviario. Sempre nel confronto, le differenze di livello tendono a diminuire nel corso della simulazione, fino ad annullarsi negli istanti finali.

Analoghe considerazioni possono farsi analizzando l'andamento delle portate nel tempo, dove si assiste, per effetto di chiamata dalla breccia, ad un incremento dei valori a monte, fino ad un massimo superiore ai $37 \text{ m}^3/\text{s}$, ma che decresce rapidamente sino a riportarsi a valori analoghi al precedente caso A.1 attorno all'istante $t=55$ ore. Corrispondentemente al picco (positivo) di portata transitante a monte, si osserva un picco (negativo) a valle; la differenza tra i due valori (circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$) è il valore massimo di portata che tracima nel territorio.

La Fig. 12.10, in analogia alla precedente Fig. 12.8 riporta una sequenza di immagini che illustrano con una scala di colori la distribuzione delle altezze d'acqua calcolata con il modello in diversi istanti successivi della simulazione A.2.

La prima immagine, relativa all'istante $T=30$ ore della simulazione, mostra una situazione del tutto analoga alla precedente, non essendo ancora iniziato l'ipotetico cedimento arginale.

La seconda immagine, relativa all'istante $T=40$ ore della simulazione, mostra allagamenti nel territorio adiacente al tratto arginale ceduto, che si estendono a nord-ovest fino alla S.S. 516, a sud-est fino alla stessa ferrovia Adria Venezia, mentre a nord fino quasi all'argine desto dello Scolo Botta. Si osserva peraltro che l'estensione delle aree allagate tende a restare relativamente contenuta. I valori massimi, in termini di lama d'acqua, sono localizzati tra la Fossa di Partizione e il Fosson dei Ferri e sono dell'ordine di 50 cm.

La terza immagine, relativa all'istante $T=55$ ore, evidenzia come l'esondazione tenda ad essere assorbita dalla rete di bonifica, con la Fossa di Partizione e soprattutto con il Fosson dei Ferri che, avendo sezioni adeguate rispetto alle portate in gioco, sono in grado di convogliare anche le acque originate dalla rotta dell'Adigetto senza tracimare a loro volta.

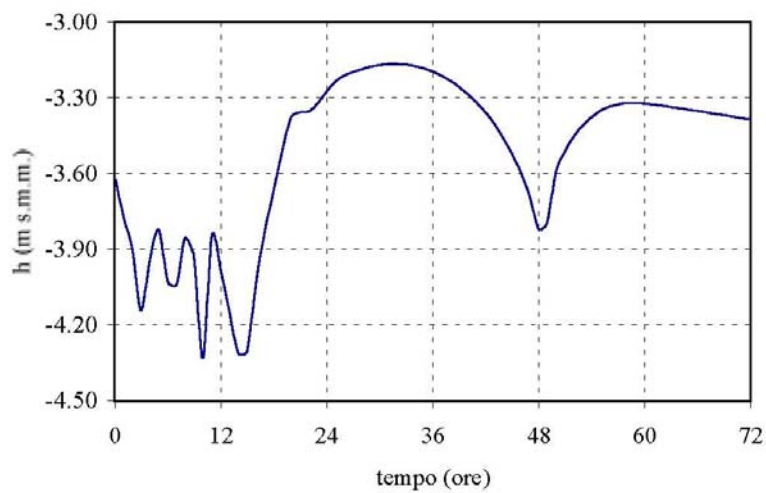
La quarta ed ultima immagine, relativa all'istante $T=70$ ore della simulazione, mostra una situazione nuovamente confrontabile con quella relativa allo stesso istante del precedente caso A.1: sul territorio non sono praticamente visibili, infatti, esiti conseguenti al cedimento arginale.

E' importante fare notare che la simulazione considera che le condizioni al contorno assunte per il C. Adigetto (idrogramma di portata a monte e funzionamento dell'idrovora di Voltascirocco a valle) si mantengano inalterate nel corso della simulazione. Un ulteriore scenario, ben più gravoso, potrebbe essere quello che considera, in concomitanza con il

cedimento arginale, il parziale o totale arresto dell'idrovora in modo che tutta la portata in arrivo da monte tenda ad uscire dal corso d'acqua attraverso la breccia. Un tale scenario potrebbe essere oggetto di future simulazioni con il modello matematico, a patto di affinare con un ampliamento dei dati disponibili la schematizzazione del sistema che fa capo al naviglio Adigetto, soprattutto al fine di porre nel modo più realistico possibile le condizioni al contorno nella sezione di monte.

Simulazione $Tr=20$ anni

Andamento del livello a monte dell' idrovora Dossi Vallieri



Simulazione $Tr=20$ anni

Andamento della portata a monte dell' idrovora Dossi Vallieri

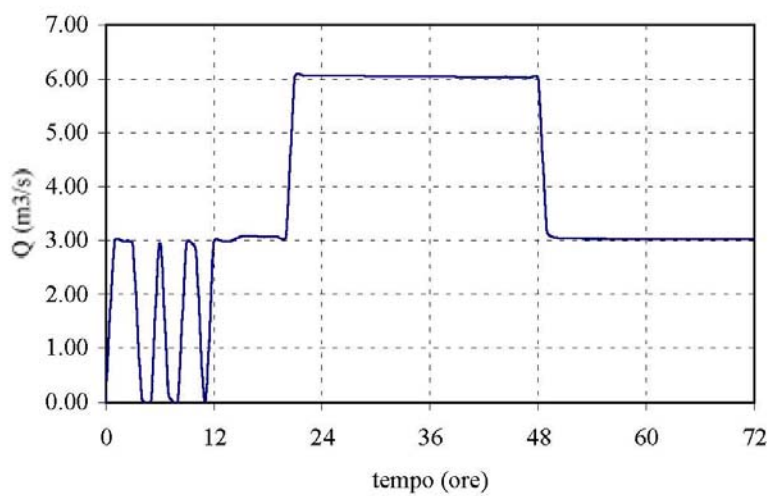


Fig. 12.6 - Andamento di livelli e portate all'idrovora Dossi Vallieri nella simulazione della propagazione di una piena avente tempo di ritorno di circa 20 anni.

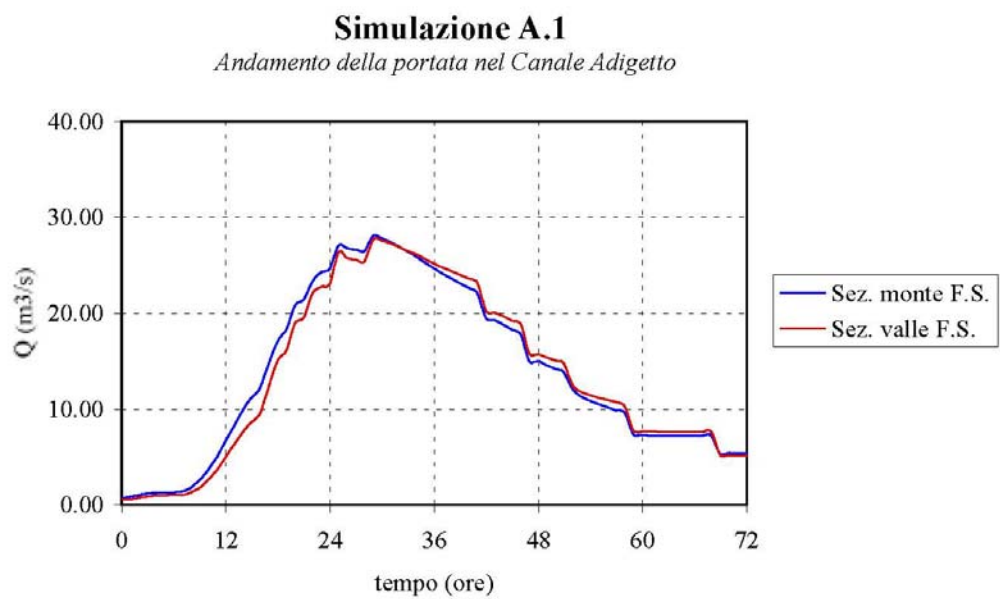
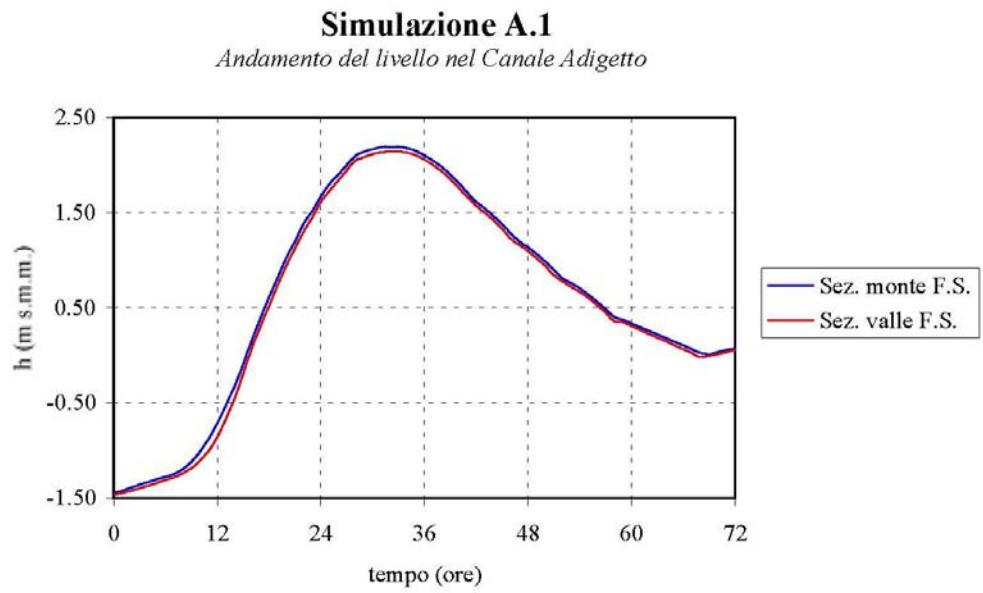


Fig. 12.7 - Andamento dei livelli e delle portate nelle sezioni poste a monte e a valle dell'attraversamento ferroviario del Canale Adigetto - simulazione A.1.

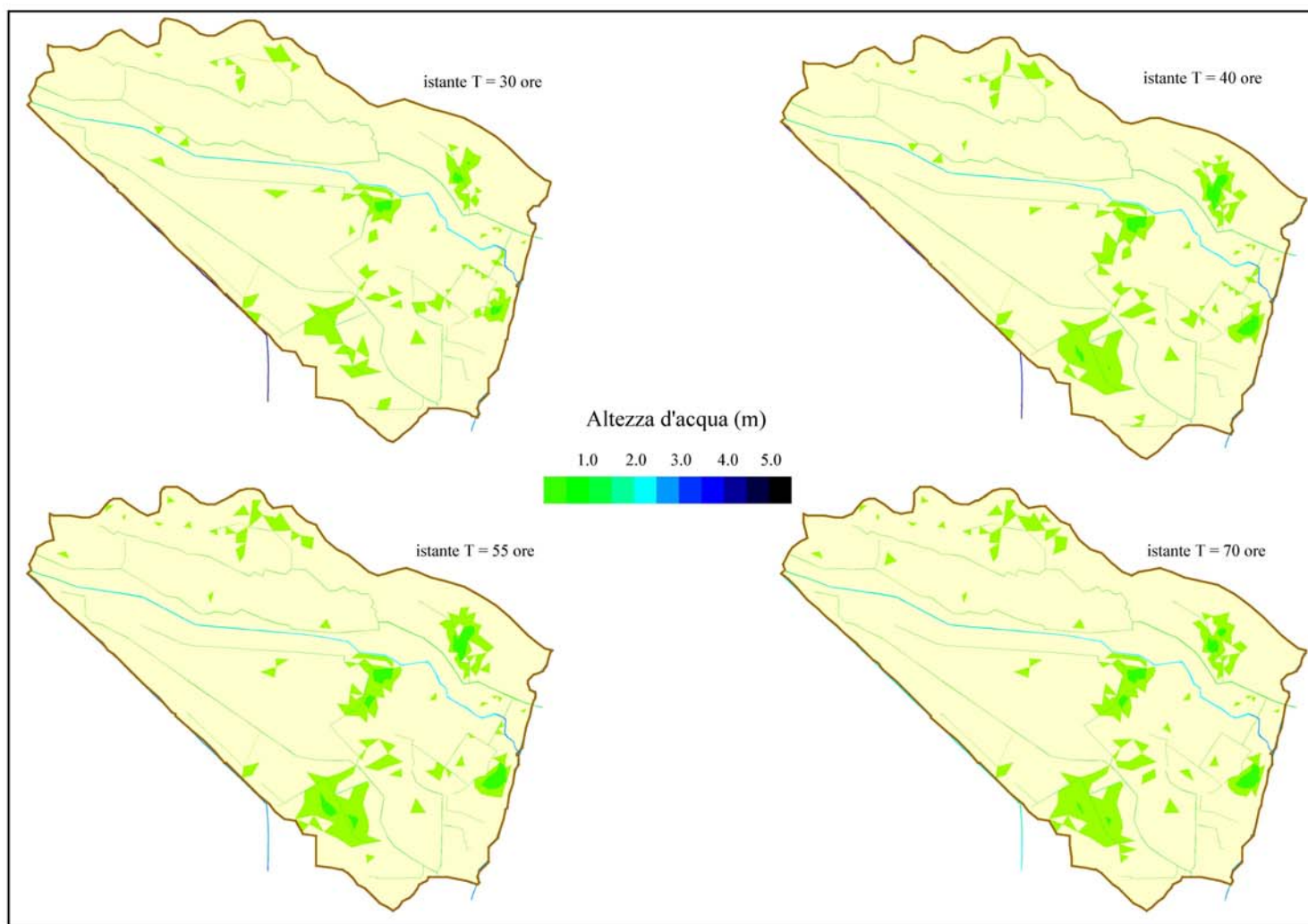
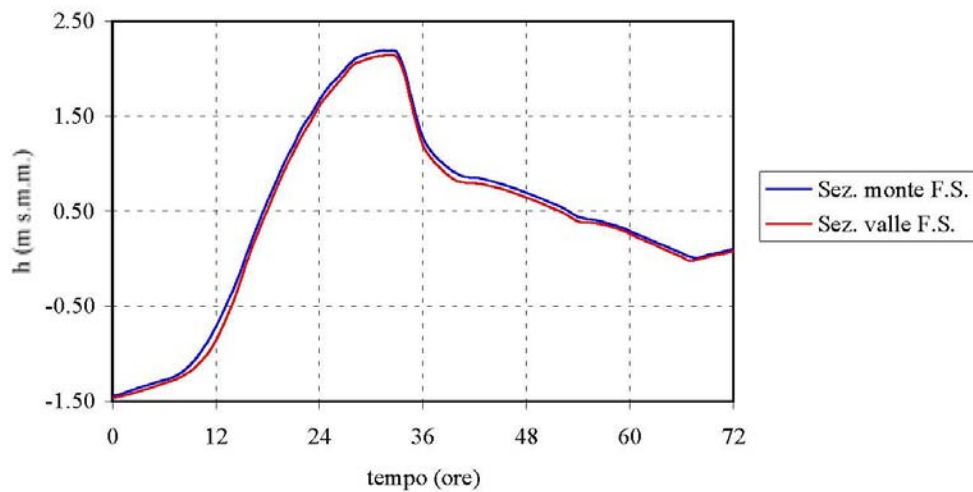


Fig. 12.8 - Territorio provinciale a sud dell' Adige. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 20$ anni (caso A.1).

Simulazione A.2

Andamento del livello nel Canale Adigetto



Simulazione A.2

Andamento della portata nel Canale Adigetto

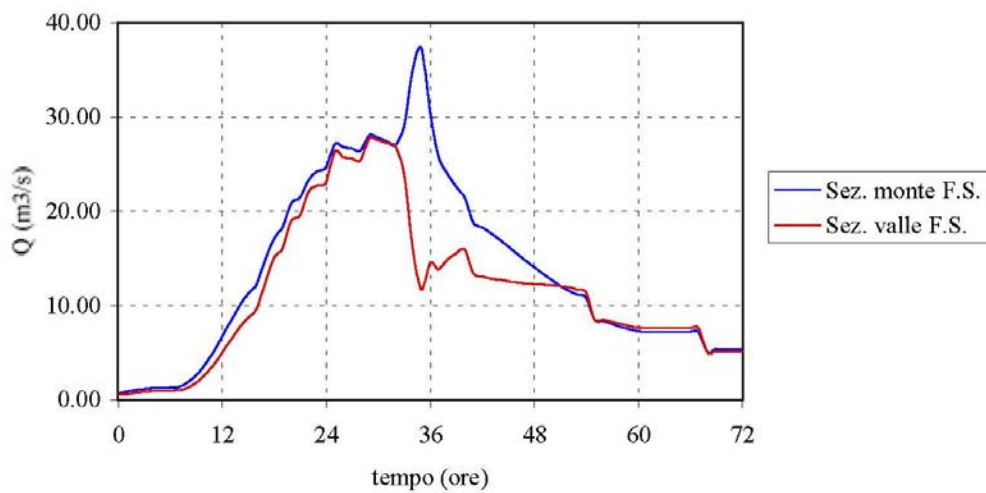


Fig. 12.9 - Andamento dei livelli e delle portate nelle sezioni poste a monte e a valle dell'attraversamento ferroviario del Canale Adigetto - simulazione A.2.

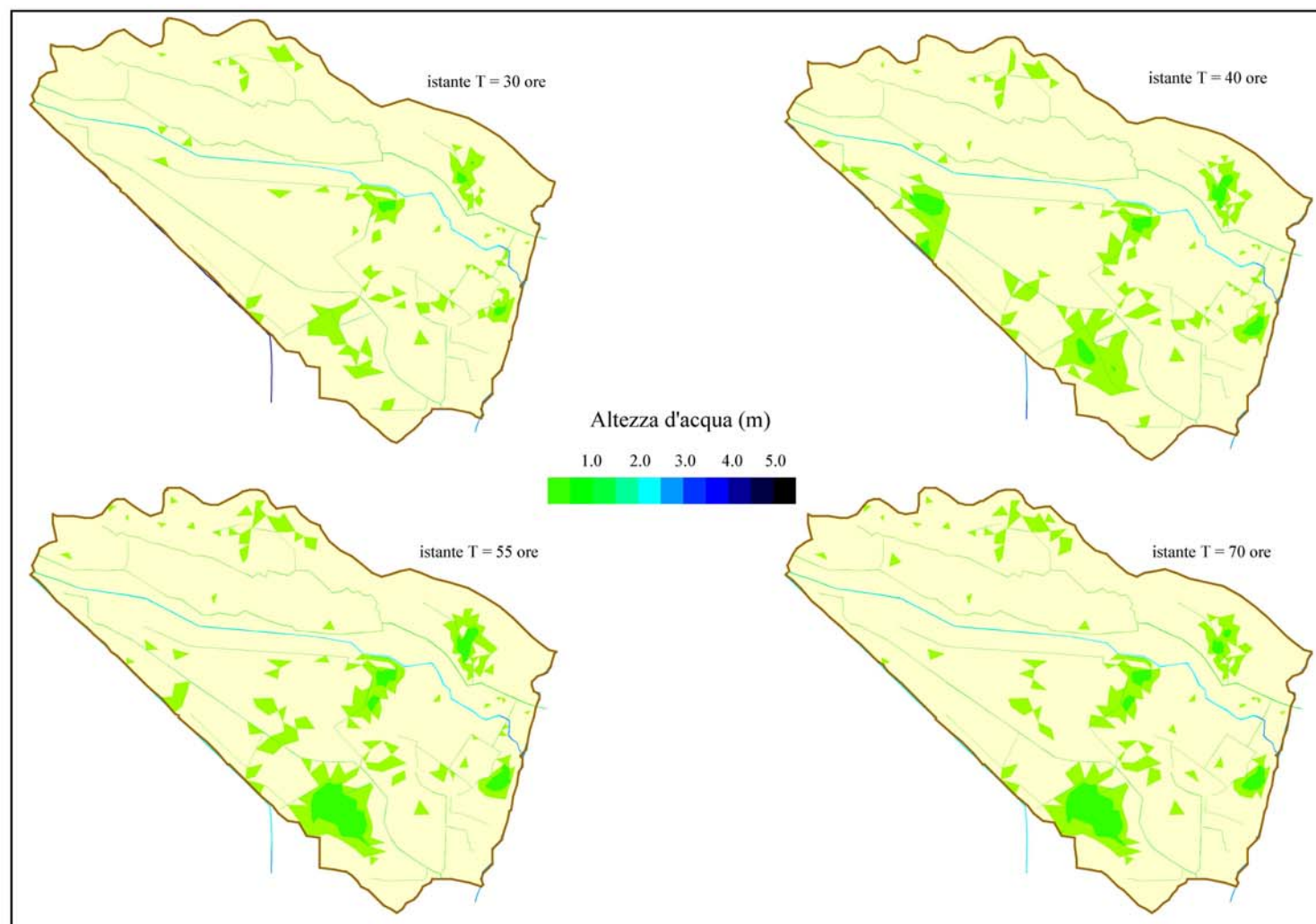


Fig. 12.10 - Territorio provinciale a sud dell' Adige. Distribuzione delle altezze d'acqua calcolate con il modello matematico nella simulazione di un evento di piena con $Tr = 20$ anni e cedimento di un tratto arginale del Canale Adigetto (caso A.2).

12.5 Osservazioni sui risultati delle simulazioni numeriche

L'indagine ha consentito di estendere la schematizzazione del modello uni-bidimensionale anche alla porzione del territorio provinciale situata a sud del F. Adige, al fine di completare la copertura di tutta la Provincia di Venezia con la modellazione.

Il dominio di calcolo, in questo caso, è delimitato, oltre che dal F. Adige, a nord, dalla S.P. 30 e dall'argine destro del Naviglio Adigetto ad ovest, dalla sponda sinistra del Canalbianco a sud e dall'argine sinistro del Canale di Loreo ad est. L'estensione del territorio considerato è di circa 83 km², e comprende quasi interamente i bacini di bonifica Tartaro Osellin e Dossi Vallieri, gestiti dal Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canalbianco con sede a Rovigo, che ha fornito i dati relativi alla rete di bonifica ed alle idrovore presenti nel territorio.

Le simulazioni hanno considerato ipotetici eventi di piena caratterizzati da tempo di ritorno di circa venti anni, valutati sulla base dei dati contenuti nel Piano Generale di Bonifica. I risultati dei calcoli hanno evidenziato che, per eventi come quelli considerati, alcune parti del territorio, particolarmente depresse, possono essere oggetto di moderati allagamenti per insufficienza della rete di bonifica a convogliare portate elevate.

E' stato considerato, inoltre, a titolo di esempio, l'ipotetico cedimento di un tratto arginale del Canale Adigetto in corrispondenza all'attraversamento ferroviario della linea Adria Venezia. La simulazione ha messo in evidenza che la parte di territorio interessata dall'esondazione è circoscritta dalla presenza di rilevati (stradali, arginali e ferroviari) che contengono gli allagamenti. Inoltre, la presenza di collettori nella parte interessata consente l'allontanamento delle acque in tempi brevi e limita le lame d'acqua sul terreno a valori massimi di circa 50 cm. Fermo restando che le conseguenze di un fenomeno quale una rotta arginale sono difficilmente stimabili anche con l'applicazione del modello matematico perché dipendono principalmente dalle ipotesi assunte sulle modalità con cui si evolve la breccia, in questo caso l'entità delle portate in gioco e la natura dei luoghi portano a ritenere che le aree interessate da eventi analoghi a quello ipotizzato possano essere di estensione limitata.

In definitiva, le simulazioni hanno dimostrato come la rete della bonifica sia sostanzialmente adeguata, tenuto conto che le esondazioni che possono eventualmente verificarsi sul territorio interessano solo zone prevalentemente agricole e quindi a basso rischio idraulico. Anche un'eventuale esondazione del Canale Adigetto conseguente ad un ipotetico cedimento del suo argine sinistro, dovrebbe comportare allagamenti limitati nell'estensione e nel tempo.

I principali rischi di grave allagamento per il territorio considerato appaiono legati essenzialmente a possibili problemi di funzionamento delle idrovore. In particolare, poiché il collettore di tutto il bacino è il sistema Canalbianco Po di Levante, il quale a sua volta è dominato dai livelli idrometrici che, per effetto della marea e delle mareggiate, si stabiliscono alla foce nella Laguna La Vallona, è possibile pensare a situazioni di crisi del collettore principale per difficoltà di scarico alla foce con conseguenti difficoltà nel funzionamento delle idrovore dei bacini qui considerati. In tali casi è evidente che gli allagamenti reali potrebbero essere ben più estesi di quelli simulati.

Ad esempio va ricordato che, sulla base delle indicazioni fornite dal locale Consorzio di Bonifica, i più frequenti allagamenti in questo territorio riguardano il centro abitato di Loreo (provincia di Rovigo) per tracimazione dell'omonimo canale in situazioni analoghe a quella descritta.

Tra le aree a rischio idraulico si segnalano, infine, le zone ubicate a nord del comprensorio (in particolare l'abitato di Cavarzere), confinanti con il Fiume Adige e particolarmente depresse rispetto alle sommità arginali dell'Adige stesso e quindi implicitamente in condizioni di

pericolosità idraulica. Future simulazioni con il modello matematico potrebbero prendere in considerazione proprio il rischio derivante dalla soggiacenza di questi territori al corso dell'Adige. Ciò nel caso in cui si rendessero disponibili sia i dati relativi alle portate massime del fiume, sia i dati geometrici necessari per la schematizzazione dettagliata di questo corso d'acqua nel tratto di interesse ed in particolare in corrispondenza dei ponti stradali e ferroviario

BIBLIOGRAFIA

- [1] D'Alpaos L., Defina A., - "Modellazione matematica del comportamento idrodinamico di una zona di barene solcate da una serie di canali minori". Istituto Veneto di SS.LL.AA., volume XII, Venezia 1995.
- [2] Defina A., D'Alpaos L., Matticchio B. - "A new set of equation for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models". Proceedings of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas, ASCE Eds., Milano 1994.
- [3] D'Alpaos L., Defina A., Matticchio B. - "A 2D finite element modelling of flooding due to a river bank collapse". Proceedings of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas, ASCE Eds., Milano 1994.
- [4] Provincia di Venezia - "Esame con un modello matematico agli elementi finiti degli effetti conseguenti all'eventuale esondazione del Canale dei Cuori nel suo tratto terminale", prof. L. D'Alpaos, ing. B. Matticchio, 1996 .
- [5] Provincia di Venezia - "Modello matematico per la simulazione della propagazione delle piene e degli eventuali fenomeni di esondazione ai fini della previsione e della gestione delle situazioni di emergenza idraulica nel territorio provinciale. 1 - Applicazione al tratto terminale del C. Gorzone e al territorio adiacente compreso tra il F. Adige e il sistema Bacchiglione - Brenta. 2 - Applicazione al tratto terminale del F. Tagliamento e al territorio adiacente nel bacino di S. Michele al Tagliamento", prof. L. D'Alpaos, ing. B. Matticchio, 1998.
- [6] Provincia di Venezia - "Modello matematico per la simulazione della propagazione delle piene e degli eventuali fenomeni di esondazione ai fini della previsione e della gestione delle situazioni di emergenza idraulica nel territorio provinciale. 1 - Applicazione al bacino del F. Lemene. 2 - Applicazione al tratto terminale del F. Livenza e al territorio adiacente. 3 - Applicazione al tratto terminale del F. Piave e al territorio adiacente. 4 - Applicazione al territorio compreso tra il F. Aige e il sistema Brenta - Bacchiglione", Ipros Ingegneria Ambientale, 1999.
- [7] Regione del Veneto - "Piano di bacino del Fiume Sile", prof. A. Ghetti, prof. L. D'Alpaos, 1986-1988.
- [8] Magistrato alle Acque, Consorzio Venezia Nuova - "Studio finalizzato alla raccolta e al trasferimento su supporto informatico dei dati relativi alle caratteristiche geometriche e funzionali delle reti di bonifica afferenti nella Laguna di Venezia – vol. 4 Consorzio Dese - Sile", prof. ing. V. Bixio, 1996.
- [9] Magistrato alle Acque, Consorzio Venezia Nuova - "Studio finalizzato alla raccolta e al trasferimento su supporto informatico dei dati relativi alle caratteristiche geometriche e funzionali delle reti di bonifica afferenti nella Laguna di Venezia – vol. 2 Consorzio Bacchiglione - Brenta", prof. ing. V. Bixio, 1996.
- [10] Magistrato alle Acque, Consorzio Venezia Nuova - "Studio finalizzato alla raccolta e al trasferimento su supporto informatico dei dati relativi alle caratteristiche geometriche e funzionali delle reti di bonifica afferenti nella Laguna di Venezia – vol. 3 Consorzio Sinistra Medio Brenta", prof. ing. V. Bixio, 1996.
- [11] Carniello L., - "Modellazione matematica dei fenomeni di inondazione del territorio posto in adiacenza ai fiumi del sistema idrografico Brenta-Bacchiglione", Tesi di laurea, Istituto di Idraulica G. Poleni, Università di Padova, relatore prof. L. D'Alpaos, 2001.
- [12] Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia - "Piano di Bacino Fiume Lemene 1° Lotto", CSPB Consorzio Studio Piani di Bacino, 1985 .
- [13] Consorzio di bonifica "Cellina - Meduna" - "Progetto generale di massima di sistemazione delle acque di risorgenza pedemontana dei F. Sile e Fiume", prof. Ing. R. Cola, Dott. Ing. F. Aprilis, Dott. G. Sauli, 1984 .
- [14] Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione

- “Indagine sulle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Livenza ai fini della difesa idraulica e valutazione dell’efficacia di interventi di moderazione delle piene”, Idroesne ingegneria ed al., 1996.
- [15] Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - “Studio finalizzato al riconoscimento delle aree di pertinenza idraulica e di sicurezza idraulica lungo il Piave a valle di Nervesa della Battaglia, mediante modello matematico bidimensionale”, prof. L. D’Alpaos, 1998.
- [16] Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - “Indagine sulle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Brenta-Bacchiglione ai fini della difesa idraulica e valutazione dell’efficacia di interventi di moderazione delle piene”, Studio Altieri s.r.l., Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l., 1994.
- [17] Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione - “Indagine sulle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Brenta-Bacchiglione ai fini della difesa idraulica e valutazione dell’efficacia di interventi di moderazione delle piene”, Studio Altieri s.r.l., Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l., 1994.
- [18] M. LL.PP., Magistrato alle acque di Venezia - “Indagini idrologiche sul bacino inferiore del Tagliamento mediante la realizzazione di modelli matematici per lo smaltimento delle portate di piena a valle di Latisana”, Hydromet s.r.l., 1992.
- [19] Magistrato alle acque di Venezia, Ufficio del Genio Civile di Udine - progetto dei “Lavori di ristrutturazione, sistemazione e impermeabilizzazione delle arginature destra e sinistra del fiume Tagliamento a monte e a valle di Latisana” redatto dai proff. R. Cola, A. Adami e L. D’Alpaos, 1982 .
- [20] Consorzio del Tagliamento - “Studio con modello matematico afflussi - deflussi” nell’ambito della “Concessione per l’espletamento di studi, progettazioni e sperimentazioni per l’esecuzione di opere da attuare nel bacino del Tagliamento, per l’attenuazione delle piene”, Bonifica S.p.A., 1991.