



Villanova di Camposampiero (PD)



Martellago (VE)

VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL P.G.R.A. PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCHEGGIO E DELL'AMPLIAMENTO DELL'EDIFICIO PRODUTTIVO NEL SITO DI KIOENE S.P.A., NEL TERRITORIO COMUNALE DI VILLANOVA DI CAMPOSAMPIERO (PD)

ELABORATO N.

1

SCALA:

-

FILE:

kioene_verci-r0.docx

DATA:

Luglio 2023

**Verifica di Compatibilità Idraulica
Relazione**

ESECUZIONE:



IPROS Ingegneria Ambientale S.r.l.

Corso del Popolo, 8 – 35131 Padova

e-mail: ipros@ipros.it

web: www.ipros.it



P. Peretti

REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	LUG. 2023	Prima emissione	S. Cocco	P. Peretti	P. Peretti

INDICE

1. PREMESSE	3
2. LA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TERRITORIO IN CUI RICADE IL SITO AZIENDALE DI KIOENE S.P.A. SECONDO IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELLE ALPI ORIENTALI	5
3. IL MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE DEGLI SCOLI FIUMICELLO E CALTANA E DEL TERRITORIO POTENZIALMENTE ALLAGABILE CHE COMPRENDE PARTE DEL COMUNE DI VILLANOVA DI CAMPOSAMPIERO E IL SITO DI KIOENE S.P.A.....	6
4. SIMULAZIONE DELL'EVENTO CON TR=100 ANNI NELLO STATO DI FATTO	9
5. SIMULAZIONE DELL'EVENTO CON TR=100 ANNI NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO.....	11
5.1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	11
5.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO.....	13
6. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	17
7. APPENDICE B - IL MODELLO MATEMATICO BIDIMENSIONALE.....	18
7.1. NOTE GENERALI	18
7.2. LE EQUAZIONI DEL MOTO.....	18
7.3. LO SCHEMA NUMERICO.....	19
7.4. ELEMENTI 2D SPECIALI.....	20
7.5. ELEMENTI UNIDIMENSIONALI	20
7.6. ELEMENTI 1D SPECIALI.....	22
7.7. BIBLIOGRAFIA	23

1. PREMESSE

La presente relazione illustra le indagini modellistiche effettuate ai fini della Verifica di Compatibilità Idraulica relativa agli interventi previsti per realizzare un parcheggio e l'ampliamento dell'edificio produttivo nel sito di Kioene S.p.A. territorio comunale di Villanova di Camposampiero, in provincia di Padova.

La Verifica di Compatibilità Idraulica è richiesta ai sensi delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione, Primo Aggiornamento, adottato in data 4 febbraio 2022. A seguito di tale adozione, il PGRA è divenuto strumento di riferimento unico ai fini dell'individuazione delle aree a pericolosità idraulica, configurandosi quale stralcio del Piano di bacino Distrettuale con valore di piano territoriale di settore, con la contestuale cessazione dall'efficacia dei Piani per l'assetto idrogeologico (PAI), i quali restano in vigore solo per quanto riguarda la pericolosità geologica e da valanga.

Nel caso in esame, l'indagine fa seguito allo *"Studio idrologico-idraulico finalizzato alla valutazione delle condizioni di pericolosità idraulica del sito di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero (PD), determinate da possibili esondazioni dalla rete idrografica locale ai fini dell'aggiornamento della mappatura del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni ai sensi dell'art. 6 lett. C delle Norme di Attuazione"* redatto dalla scrivente su incarico di Aequa Engineering srl di Martellago (VE), per conto di Kioene S.p.A. di Villanova di Camposampiero (PD), e presentato nella piattaforma SIGMA dell'Autorità di Distretto delle Alpi Orientali nel dicembre 2022 con una richiesta di revisione delle aree di pericolosità idraulica nell'intorno del sito aziendale di Kioene S.p.A. stessa.

Tale richiesta di aggiornamento delle mappe del PGRA è stata approvata con il Decreto del Segretario Generale dell'Autorità Distrettuale n. 30 del 9 Marzo 2023, avente per oggetto *"L'aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) nel comune di Villanova di Camposampiero (PD), ai sensi dell'art. 6, comma 4 delle Norme Tecniche di Attuazione"*, reso successivamente efficace con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale n. 105 del 6 maggio 2023.

Come da richiesta di revisione delle mappe, il sito di Kioene S.p.A. ricade ora secondo il PGRA 2021-2027 entro un'area classificata a pericolosità idraulica moderata P1, fatta eccezione per le zone destinate al bacino di compensazione delle acque meteoriche in eccesso e alle baie di carico-scarico, classificate a pericolosità idraulica media P2.

L'intervento in progetto, che comprende il parcheggio e l'ampliamento dell'edificio produttivo sul lato ovest e sul lato est, ricade in una zona a pericolosità idraulica moderata P1 e necessita, come previsto dall'Autorità di Distretto, della Verifica di Compatibilità Idraulica condotta sulla base della scheda tecnica allegata alle Norme Tecniche di Attuazione del PGRA stesso (Allegato A delle NTA, punti 2.1 e 2.2).

La scheda tecnica suddetta prevede che la caratterizzazione delle condizioni idrauliche nello stato di fatto e nello stato di progetto sia effettuata applicando le metodologie correlate alla tipologia di fenomeno in esame (in questo caso "alluvione di pianura"), per verificare che l'intervento proposto sia in condizioni di sicurezza e non generi incremento di pericolosità dell'area interessata nonché a valle o a monte della stessa per un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni. In particolare, è previsto che le analisi siano condotte implementando un modello idraulico bidimensionale ad area limitata di adeguata estensione (almeno 2 km a monte e a valle dell'area interessata) correlato alla tipologia di fenomeno (in questo caso "alluvione di pianura"). Il modello nella configurazione esistente del territorio (lo stato di fatto) deve essere calibrato utilizzando come riferimento i

risultati delle analisi prodotte dall'Autorità di bacino dalle quali consegue l'attuale mappatura del pericolo.

Nel caso specifico, si è utilizzato il modello idraulico bidimensionale implementato a supporto della richiesta di aggiornamento del PGRA precedentemente citata, alimentato con le portate idrologiche allora calcolate, che risulta quindi ovviamente calibrato con le mappe del PGRA stesso nell'area di interesse.

Nei capitoli seguenti della presente relazione, sono quindi richiamati in sintesi le caratteristiche principali e i risultati del modello bidimensionale ottenuti per lo stato di fatto nell'ambito del precedente studio, mentre è illustrato in dettaglio il confronto tra i risultati delle simulazioni di calcolo condotte per l'evento con $Tr=100$ anni per lo stesso stato di fatto e per la configurazione di progetto.

2. LA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TERRITORIO IN CUI RICADE IL SITO AZIENDALE DI KIOENE S.P.A. SECONDO IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELLE ALPI ORIENTALI

Come accennato nelle premesse, la mappa della pericolosità idraulica nell'intorno di Kioene S.p.A. deriva dalla richiesta di aggiornamento presentata nella piattaforma SIGMA nel dicembre 2022 che è stata approvata con il Decreto del Segretario Generale dell'Autorità Distrettuale n. 30 del 9 Marzo 2023, a sua volta reso efficace con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale n. 105 del 6 maggio 2023.

Con riferimento alla mappa di allagamento per l'evento di media probabilità ($T_r=100$ anni), il sito di Kioene S.p.A. è in parte interessato da altezze idriche inferiori a 50 cm, mentre in corrispondenza delle zone delle baie di carico-scarico e del bacino di compensazione delle acque meteoriche in eccesso tali altezze di allagamento arrivano fino a valori rispettivamente di 1.0-1.5 m e 1.5-2.0 m, come rappresentato in Figura 2.1, a sinistra. Secondo la mappatura della pericolosità idraulica (Figura 2.1, a destra), le zone degli interventi, il parcheggio e gli ampliamenti sui lati ovest ed est dell'edificio esistente, ricadono entro aree classificate con pericolosità idraulica moderata P1, mentre le sole zone sopra citate delle baie di carico-scarico e del bacino di compensazione sono classificate a pericolosità idraulica media P2.

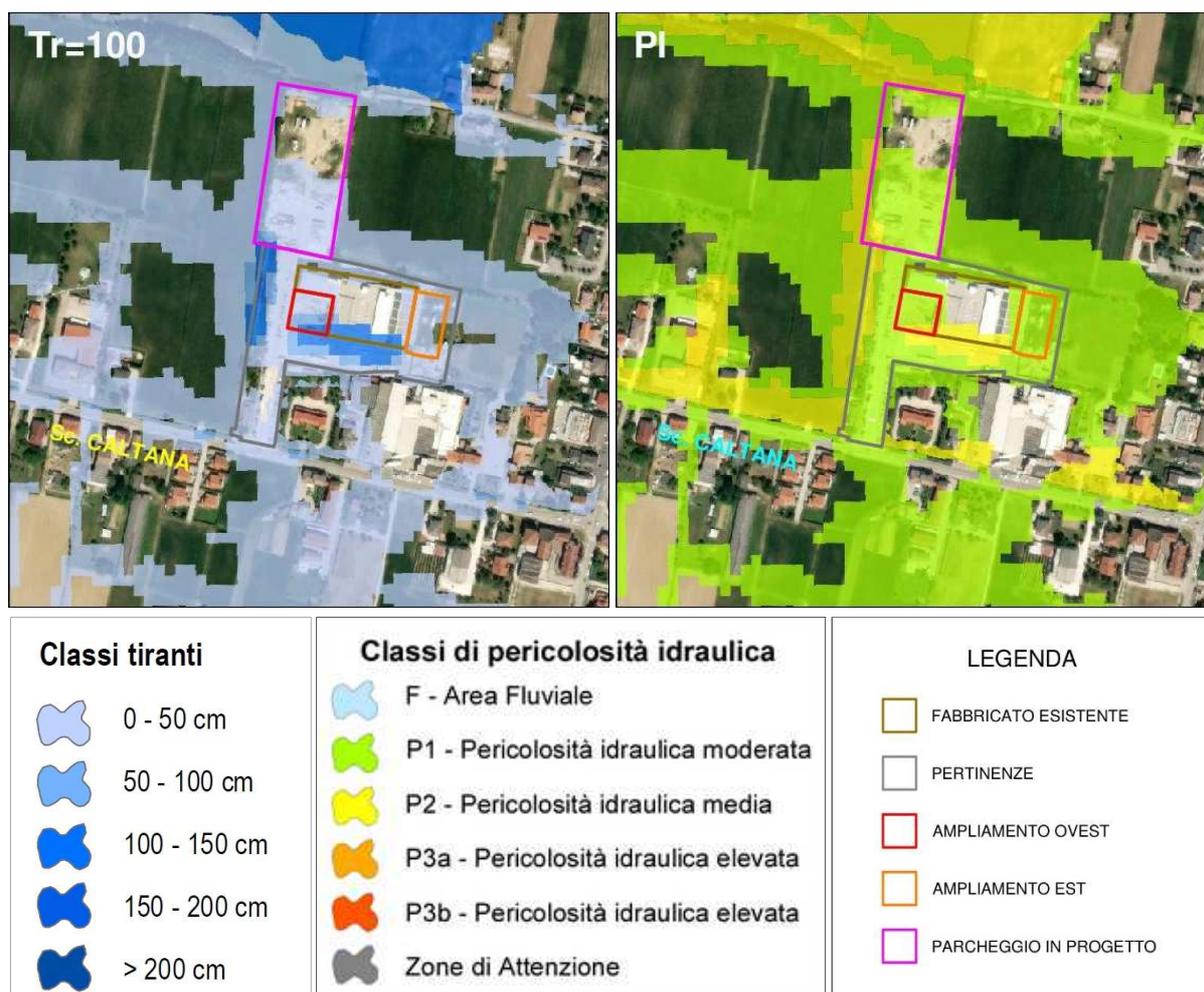


Figura 2.1 - Perimetrazioni delle aree allagabili, con le relative classi delle altezze idriche, valutate per il tempo di ritorno $T_r=100$ anni (in alto a sinistra) e delle aree di pericolosità idraulica (in alto a destra) secondo il PGRA 2021-2027, nella zona che comprende il sito aziendale di Kioene S.p.A., con l'indicazione planimetrica del fabbricato esistente e delle relative pertinenze.

3. IL MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE DEGLI SCOLI FIUMICELLO E CALTANA E DEL TERRITORIO POTENZIALMENTE ALLAGABILE CHE COMPRENDE PARTE DEL COMUNE DI VILLANOVA DI CAMPOSAMPIERO E IL SITO DI KIOENE S.P.A.

Per redigere la Verifica di Compatibilità Idraulica relativa agli interventi previsti nel sito di Kioene S.p.A., si è utilizzato il modello idraulico uni-bidimensionale implementato a supporto della citata richiesta di aggiornamento delle mappe del PGRA.

Si tratta del modello uni-bidimensionale il cui dominio di calcolo, rappresentato in Figura 3.1, comprende l'alveo degli scoli Fiumicello e Caltana e il territorio da essi potenzialmente allagabile nel tratto in attraversamento al comune di Villanova di Camposampiero entro cui ricade anche il sito di Kioene S.p.A..

Per la modellazione dei due corsi d'acqua e del territorio si sono utilizzati i dati altimetrici LIDAR forniti dal Ministero della Transizione Ecologica, i dati topografici appositamente rilevati per gli scopi dell'indagine originale lungo lo scolo Fiumicello e nel sito aziendale in esame e i dati sulla geometria delle sezioni degli alvei ed in particolare di quelle tombinate e degli attraversamenti forniti dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive.

Il modello è stato implementato rappresentando con adeguato dettaglio la morfologia e l'altimetria dei luoghi, in particolare nella zona di interesse. Un elevato grado di dettaglio è stato ovviamente utilizzato per rappresentare l'area attorno al sito di Kioene S.p.A. (in Figura 3.1 in colore rosso), nella parte ovest del territorio indagato.

Nel complesso, la griglia di calcolo è composta da 9053 nodi, 16800 maglie triangolari, 486 elementi uni-dimensionali di tipo "canale" e 291 tronchi speciali uni-dimensionali. La dimensione dei lati delle maglie varia da valori minimi di 3-10 m, utilizzata per la schematizzazione di estremo dettaglio dell'area di Kioene S.p.A. e di quelle limitrofe, a un massimo di circa 30 m, utilizzata invece per la schematizzazione del territorio posto a maggiore distanza dalle zone di interesse.

La Figura 3.2 riporta il reticolo di calcolo del modello del territorio in esame con la rappresentazione a scala di colori dell'altimetria introdotta nella modellazione. La scala dei colori utilizzata consente di valutare il gradiente altimetrico del terreno, le cui quote si abbassano procedendo da nord-ovest verso sud-est.

Per simulare gli effetti di una piena centenaria, come richiesto per la Verifica di Compatibilità Idraulica, per le condizioni di portata si sono utilizzati gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico nell'ambito dello studio originale, a partire da piogge caratterizzate da un tempo di ritorno di 100 anni e da una durata di 24 ore, rappresentati in Figura 3.3. Tali idrogrammi sono stati opportunamente ripartiti nei 23 nodi del reticolo di calcolo con condizione di portata segnalati in Figura 3.1, posti in corrispondenza sia delle sezioni iniziali dei tratti considerati per i corsi d'acqua di interesse, sia, anche, di alcune sezioni intermedie.

Le condizioni al contorno sono completate dai dati sull'andamento del livello nelle sezioni terminali della rete, poste in corrispondenza dei nodi F2, per il Fiumicello, e C2, per il Caltana, evidenziati in Figura 3.1. In particolare, in queste sezioni si è considerata una scala delle portate in ipotesi di moto uniforme.

Per quanto riguarda, infine, i parametri che nel modello descrivono i fenomeni di resistenza al moto, si sono adottati i valori del coefficiente secondo Gauckler-Strickler pari a:

- $28 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per tutto l'alveo a sezione aperta in terra degli scoli Fiumicello e Caltana;
- $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i manufatti presenti lungo i tratti indagati dei corsi d'acqua, i tombini e le tombinate in calcestruzzo;
- $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ alle maglie bidimensionali che descrivono le zone del territorio prevalentemente pianeggianti destinate all'uso agricolo;

Verifica di Compatibilità Idraulica ai sensi delle norme tecniche di attuazione del P.G.R.A. per la realizzazione di un parcheggio e dell'ampliamento dell'edificio produttivo nel sito di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero (PD)

- $2 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ alle maglie bidimensionali che schematizzano la presenza degli edifici;
- $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ alle maglie bidimensionali che schematizzano le zone urbanizzate del territorio adiacenti agli edifici;
- $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ alle maglie bidimensionali che schematizzano le strade.

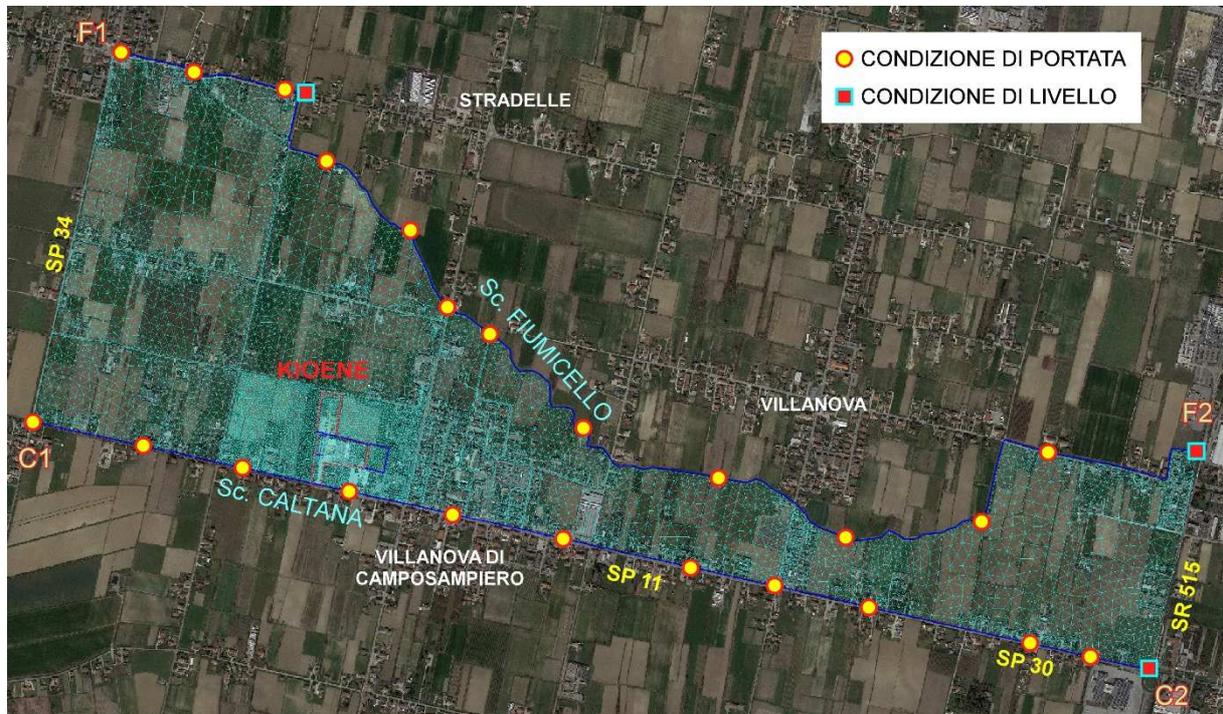


Figura 3.1 - Modello degli scoli Fiumicello e Caltana e del territorio potenzialmente allagabile che comprende parte del Comune di Villanova di Camposampiero e il sito di Kioene S.p.A., con la distribuzione delle posizioni in cui sono state poste le condizioni al contorno di portata e di livello idrometrico necessarie per le simulazioni.

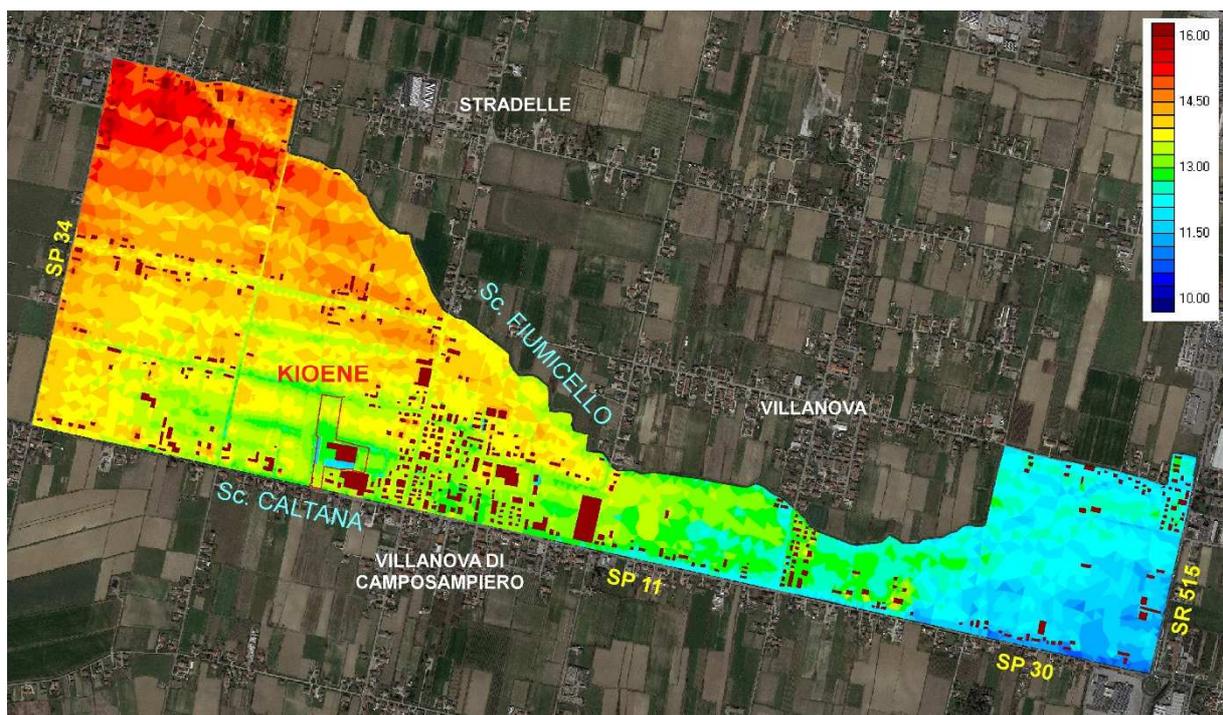


Figura 3.2 - Modello degli scoli Fiumicello e Caltana nel tratto in attraversamento al Comune di Villanova di Camposampiero e del territorio potenzialmente allagabile, che comprende il sito aziendale di Kioene S.p.A., con la rappresentazione, a scala di colori, dell'altimetria considerata nella modellazione.

Verifica di Compatibilità Idraulica ai sensi delle norme tecniche di attuazione del P.G.R.A. per la realizzazione di un parcheggio e dell'ampliamento dell'edificio produttivo nel sito di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero (PD)

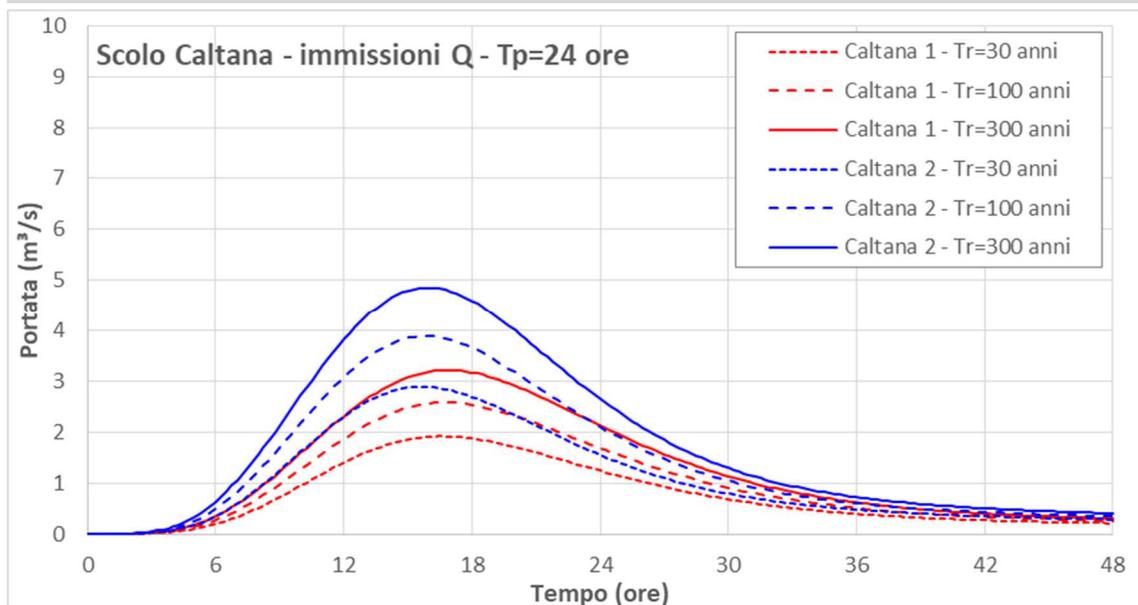
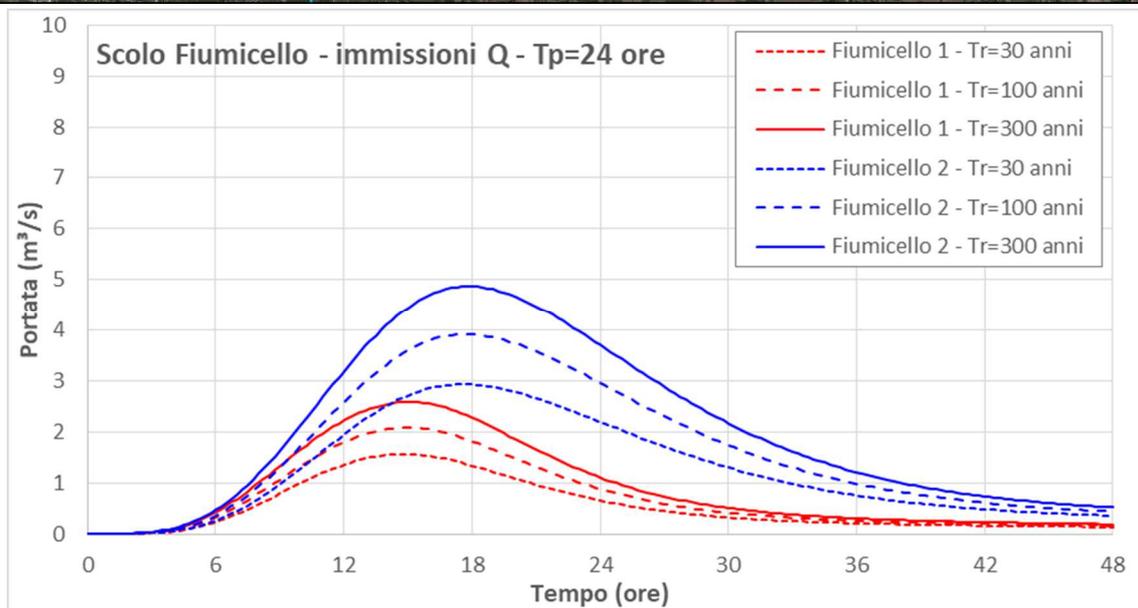
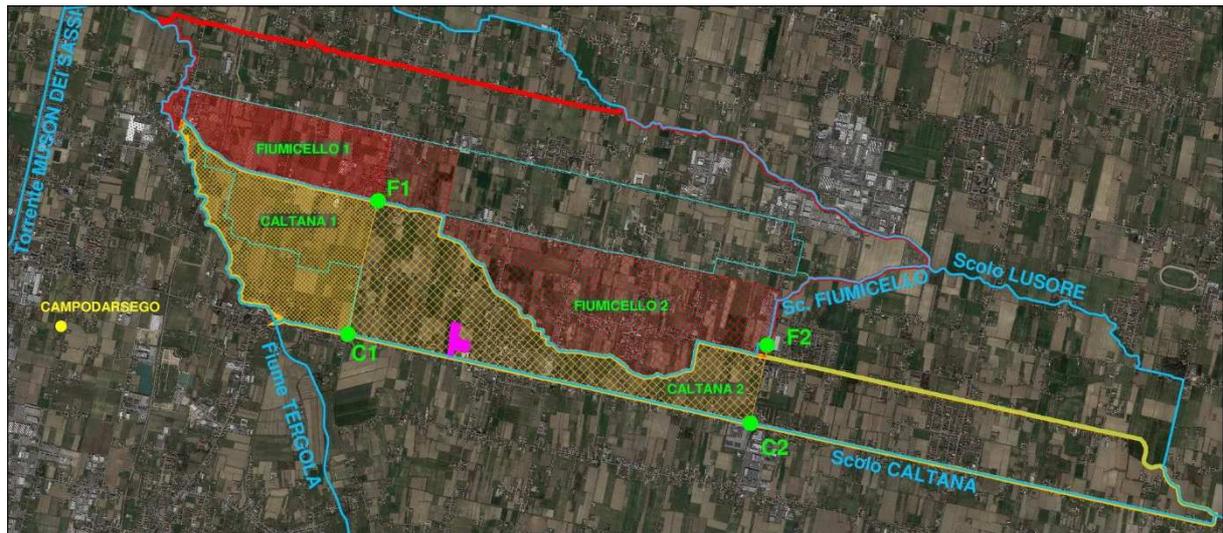


Figura 3.3 - Andamenti delle portate calcolati con il modello idrologico per eventi con tempo di ritorno di 30, 100 e 300 anni e durata delle precipitazioni di 24 ore nelle sezioni di chiusura dei 4 sottobacini in cui sono stati suddivisi i bacini idrografici degli scoli Fiumicello e Caltana (vedi sopra), utilizzati come condizioni al contorno per le simulazioni eseguite con il modello uni-bidimensionale.

4. SIMULAZIONE DELL'EVENTO CON TR=100 ANNI NELLO STATO DI FATTO

In base a quanto indicato nell'Allegato A, punto 2 delle NTA del PGRA, nella simulazione relativa allo stato di fatto il modello deve essere calibrato utilizzando come riferimento i risultati delle analisi prodotte dall'Autorità di Bacino Distrettuale dalle quali consegue l'attuale mappatura della pericolosità nel PGRA stesso.

A tale riguardo, come accennato nei capitoli precedenti, si osserva che le mappe dei tiranti idrici del PGRA nell'intorno del sito aziendale di Kioene S.p.A. corrispondono a quelle calcolate con il modello bidimensionale nell'ambito della più volte citata richiesta di aggiornamento delle mappe del PGRA stesse. Pertanto, con riferimento alle aree di interesse, il modello qui utilizzato risulta implicitamente già calibrato.

La rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla simulazione dell'evento $Tr=100$ anni nello stato di fatto, dedotta da quella presentata per lo studio originale, conferma sostanzialmente questo assunto, dal momento che i risultati ottenuti sono chiaramente corrispondenti a quelli del PGRA, come si evince dal confronto delle due mappe riportato in Figura 4.1. Nella zona del territorio compresa tra lo scolo Caltana e l'affossatura che delimita l'area aziendale verso nord, le altezze di allagamento nelle due mappe sono ovviamente coincidenti e sono sostanzialmente contenute entro la classe 0.0-0.5 m, fatta eccezione per le zone del sito aziendale destinate alle baie di carico-scarico e al bacino di compensazione.

Si osserva, infine, che le differenze riscontrabili sui bordi delle aree di allagamento sono dovute sostanzialmente alla loro rappresentazione grafica che nelle mappe del PGRA è stata realizzata mediante celle di 10x10 m, mentre quella della modellazione è stata realizzata a curve di livello.

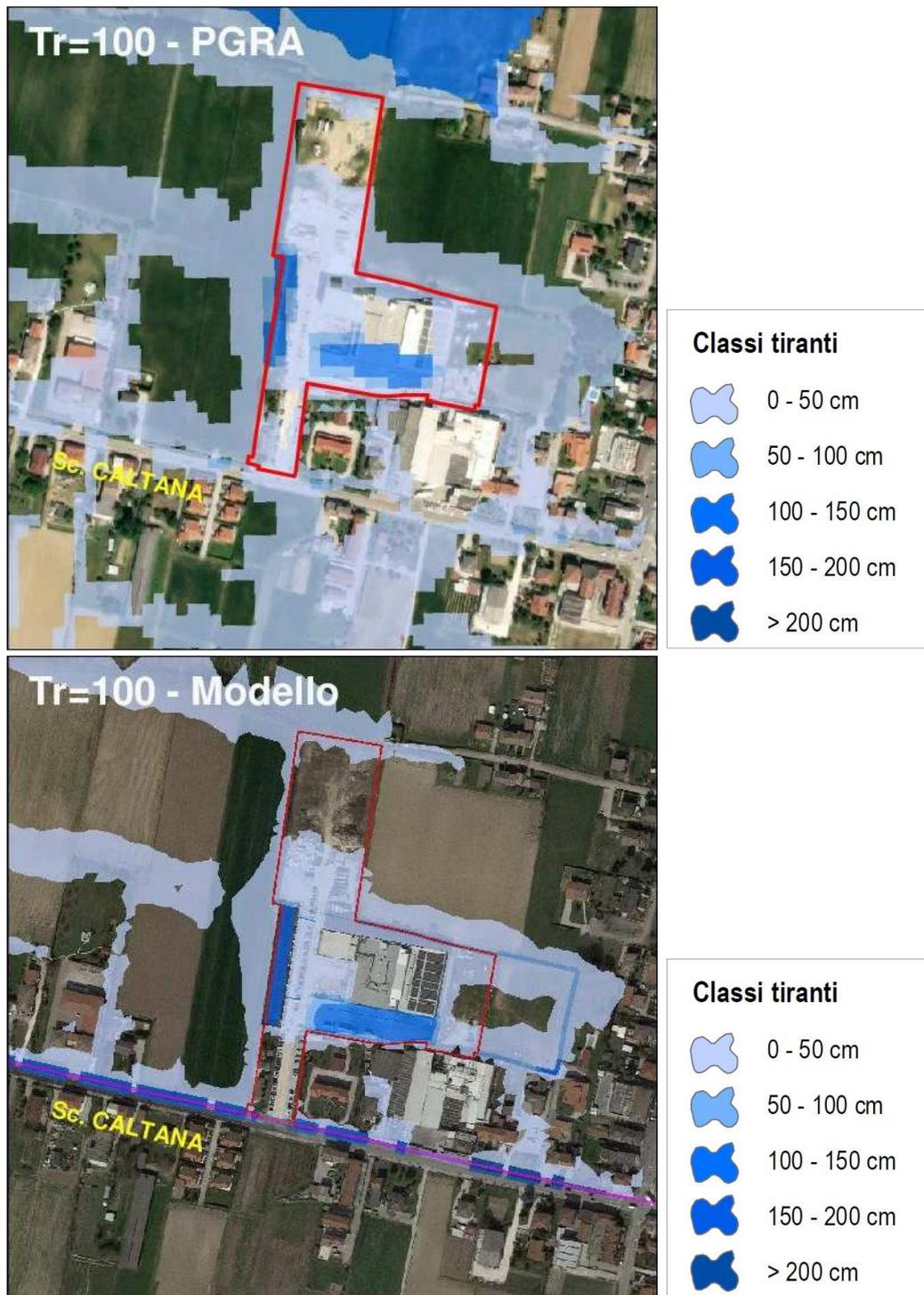


Figura 4.1 - Mappa delle massime altezze della lama d'acqua per l'evento Tr=100 anni nella rappresentazione del PGRA (sopra - immagine tratta dalle cartografie disponibili sulla piattaforma SIGMA dell'Autorità di Distretto Alpi Orientali) e mappa con l'involuppo delle massime altezze della lama d'acqua nell'intorno del sito di Kioene S.p.A. raggiunte nel corso della simulazione dell'evento con Tr=100 anni (sotto).

5. SIMULAZIONE DELL'EVENTO CON TR=100 ANNI NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

5.1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il sito di Kioene S.p.A. nel territorio del Comune di Villanova di Camposampiero interessa una superficie complessiva di circa 34500 m². Si tratta dell'area rappresentata nella corografia di Figura 5.1 in cui sono evidenziate le parti occupate dall'edificio esistente con le sue pertinenze e le zone destinate agli interventi. Come illustrato nella planimetria riportata in Figura 5.2, dedotta dall'elaborato 02IDR relativo alla configurazione di progetto dell'area Kioene S.p.A., in estrema sintesi, gli interventi prevedono la realizzazione:

- di un ampliamento del fabbricato esistente sul lato est, su di una superficie di poco meno di 1900 m², avente attualmente una quota media di circa 13.10 m s.m.;
- di un ampliamento del fabbricato esistente sul lato ovest, su di una superficie di poco più di 1400 m², avente attualmente una quota media di circa 12.85 m s.m.;
- di un parcheggio nella parte nord della proprietà, su di una superficie di circa 11750 m² avente attualmente una quota media di circa 13.25 ms.m., mediante l'adeguamento altimetrico del fondo a quote di poco superiori a 13.60 m s.m.;
- la regolarizzazione altimetrica delle pertinenze esterne dell'azienda, a quote variabili da 13.00 m s.m a 13.45 m s.m..

Dal punto di vista idraulico, ovvero ai sensi della Verifica di Compatibilità Idraulica oggetto della presente relazione, si tratta di:

- verificare che gli interventi proposti, in particolare gli ampliamenti dell'edificio, siano in condizioni di sicurezza rispetto ad un evento di piena con $T_r=100$ anni;
- determinare gli effetti della trasformazione della superficie in esame in termini di variazione del campo di moto nelle adiacenze dell'area, verificando che non si generi un incremento di pericolosità per l'area stessa, nonché a monte e a valle, per un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni. Nel caso specifico, la possibile variazione del campo di moto deriva ovviamente dalla realizzazione degli ampliamenti dell'edificio e del nuovo parcheggio.

A tale riguardo, nella simulazione di calcolo eseguita per lo stato di progetto si è considerato l'ingombro totale delle aree degli ampliamenti dell'edificio, sottraendole di fatto a possibili allagamenti, mentre le pertinenze, compreso il nuovo parcheggio, sono state inserite nel modello bidimensionale con le quote previste nel progetto stesso e quindi si sono considerate come potenzialmente allagabili dalle acque che dovessero fuoriuscire dallo scolo Caltana.

In ottemperanza alle indicazioni dell'Autorità di Distretto sulla modellazione degli interventi, la schematizzazione della situazione di progetto è stata ottenuta modificando localmente la griglia di calcolo predisposta per lo stato di fatto. La modifica è consistita, in primo luogo, nell'adeguamento della posizione dei nodi della griglia al fine di descrivere la conformazione dell'intervento. In secondo luogo, è stata modificata la quota delle celle di calcolo che schematizzano gli ampliamenti previsti per l'edificio, elevandola al di sopra del livello raggiungibile dall'allagamento, e le relative pertinenze. In questo modo, come sopra accennato, l'area dei nuovi fabbricati è stata di fatto esclusa dal dominio di calcolo, "massimizzando" l'effetto di ingombro esercitato dai fabbricati stessi sul campo di moto.

I risultati derivanti da questa configurazione sono di fatto più cautelativi, con riferimento agli scopi dello studio, con cui si intende verificare gli effetti degli interventi su possibili variazioni delle altezze d'acqua di allagamento nei dintorni degli interventi stessi, rispetto a quelli ottenibili considerando per gli elementi bidimensionali una scabrezza equivalente, ridotta rispetto allo stato attuale.

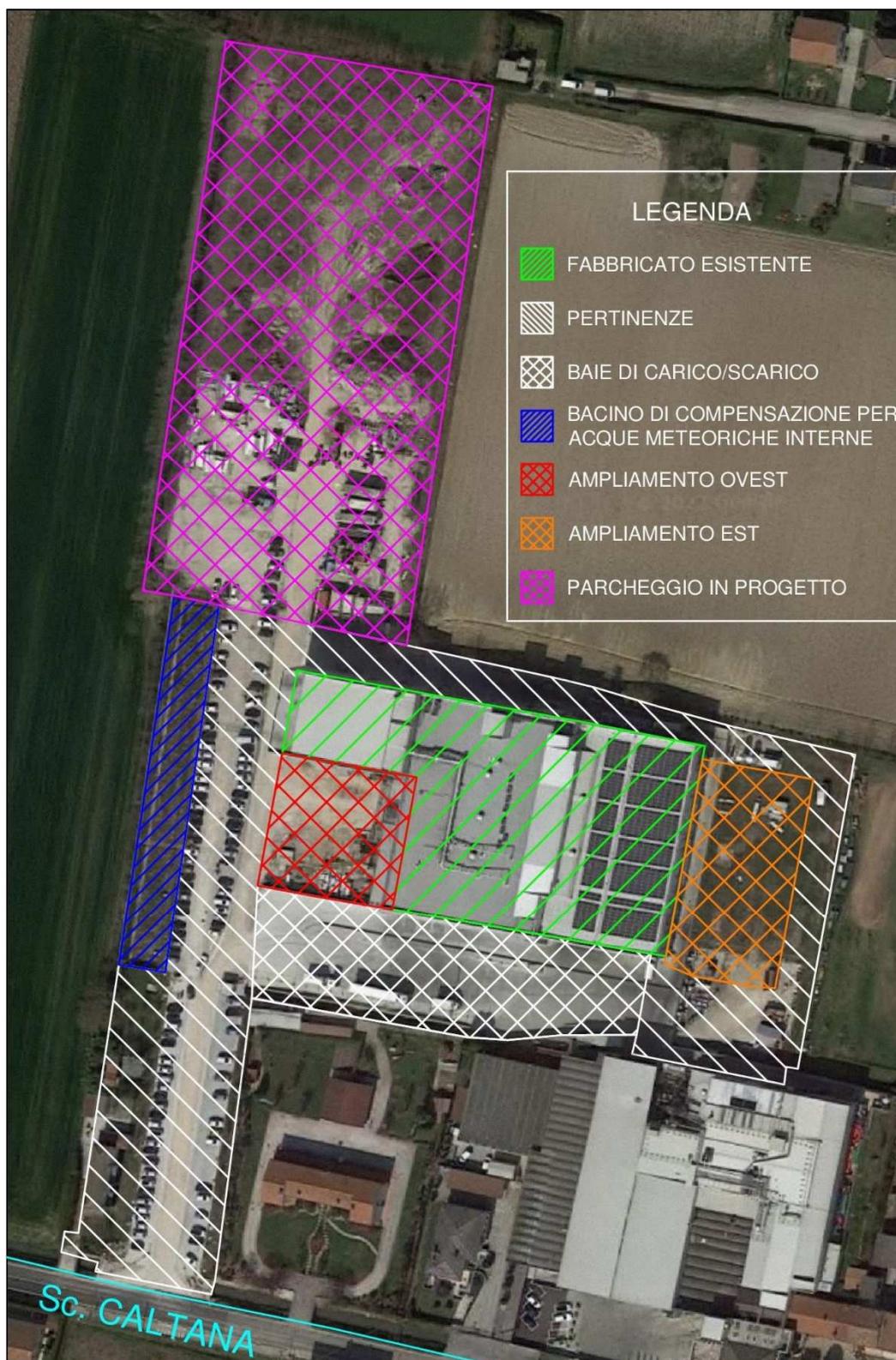


Figura 5.1 - Area Kioene S.p.A.: inserimento su foto aerea tratta da Google Earth e indicazione delle diverse parti dell'area stessa, con evidenza di quelle in progetto.

Verifica di Compatibilità Idraulica ai sensi delle norme tecniche di attuazione del P.G.R.A. per la realizzazione di un parcheggio e dell'ampliamento dell'edificio produttivo nel sito di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero (PD)



Figura 5.2 - Area Kioene S.p.A.: dati altimetrici previsti per le diverse parti dell'area stessa, dedotti dall'elaborato 02IDR relativo allo stato di progetto.

5.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IN CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

La simulazione di calcolo eseguita nella configurazione attuale, i cui risultati sono illustrati in sintesi nel precedente capitolo 4, è stata ripetuta considerando la configurazione di progetto dell'area Kioene S.p.A. che è rappresentata sulla planimetria di Figura 5.2, applicando le

medesime condizioni al contorno dell'evento $T_r=100$ anni utilizzate per la stessa simulazione nello stato di fatto.

I risultati della simulazione eseguita nella configurazione di progetto ha consentito di valutare gli effetti idraulici dovuti alla realizzazione delle opere elencate nel paragrafo 5.1 ed evidenziano che gli interventi producono variazioni minime sulla dinamica degli allagamenti, che restano circoscritte alle immediate vicinanze dell'area di intervento stessa.

Per ottenere una valutazione quantitativa del risultato sopra citato, sono state predisposte le mappe di Figura 5.3 in cui sono messe a confronto le distribuzioni dei massimi tiranti idrici nello stato di fatto e nella configurazione di progetto, nella zona del comune di Villanova di Camposampiero in cui ricade l'area di intervento.

Come appare dalle immagini, le superfici e le altezze di allagamento sulle aree esterne al sito di Kioene S.p.A. nella situazione di progetto (in basso) sono sostanzialmente coincidenti con quelle calcolate nella situazione attuale (in alto). In particolare, il confronto evidenzia un modesto incremento degli allagamenti a ovest e ad est dell'area di intervento, in corrispondenza dei punti P1 e P3. Si tratta di modeste differenze dovute al diverso modo di schematizzare l'area in esame nello stato di fatto e in quello di progetto. Sul lato ovest dell'area (punto P1), per entrambe le situazioni considerate (attuale e progetto), gli allagamenti interessano sostanzialmente le zone di campagna altimetricamente più depresse, disposte lungo tracce di affossature, ed arrivano qui fino ad altezze idriche di 45-50 cm. Gli allagamenti sul lato nord (punto P2) e sul lato est (punto P3) dell'area stessa arrivano invece a valori inferiori, pari a poco meno di 40 cm e a circa 20 cm rispettivamente. Le variazioni tra stato di fatto e di progetto sono comunque contenute entro 1-4 cm. Nella rimanente parte del territorio non si osservano sostanziali variazioni degli allagamenti, sia per estensione, sia per altezza idrica.

Nella configurazione di progetto, per la modalità di schematizzazione adottata illustrata nel precedente paragrafo 5.1 (innalzamento di quota), l'interno delle aree destinate agli ampliamenti del fabbricato esistente e l'esistente stesso risultano esenti da allagamento. Anche l'area del parcheggio risulta non allagabile per il rialzo in quota previsto, mentre sono allagate alcune pertinenze, come nello stato di fatto, quelle collocate a quota 13.0 m s.m., con tiranti d'acqua che arrivano a circa 20 cm.

I grafici rappresentati in Figura 5.4 mostrano l'andamento nel tempo dei tiranti idrici valutati per gli stati attuale e di progetto nei punti P1, P2 e P3 indicati in Figura 5.3, mentre in Tabella 5.1 sono riportati in sintesi e a confronto tra loro i valori massimi del livello idrometrico negli stessi punti. Dalla tabella e dai grafici si evince che per tutti e tre i punti le differenze di livello tra la condizione attuale e quella di progetto sono modeste (1-4 cm in incremento) e quindi gli interventi previsti non inducono variazioni sostanziali sui livelli idrometrici di probabile allagamento.

CASO ESAMINATO			LIV _{MAX} AREA INTERVENTO (m s.m.)		
N.	Tr (anni)	ATT/PROG	punto1	punto2	punto3
sim1	100	ATT	13.17	13.22	13.15
sim2	100	PROG	13.20	13.23	13.19

Tabella 5.1 - Valori massimi del livello idrometrico di allagamento valutati nei punti P1, P2 e P3 indicati in Figura 5.3 nello stato di fatto e nella configurazione di progetto.

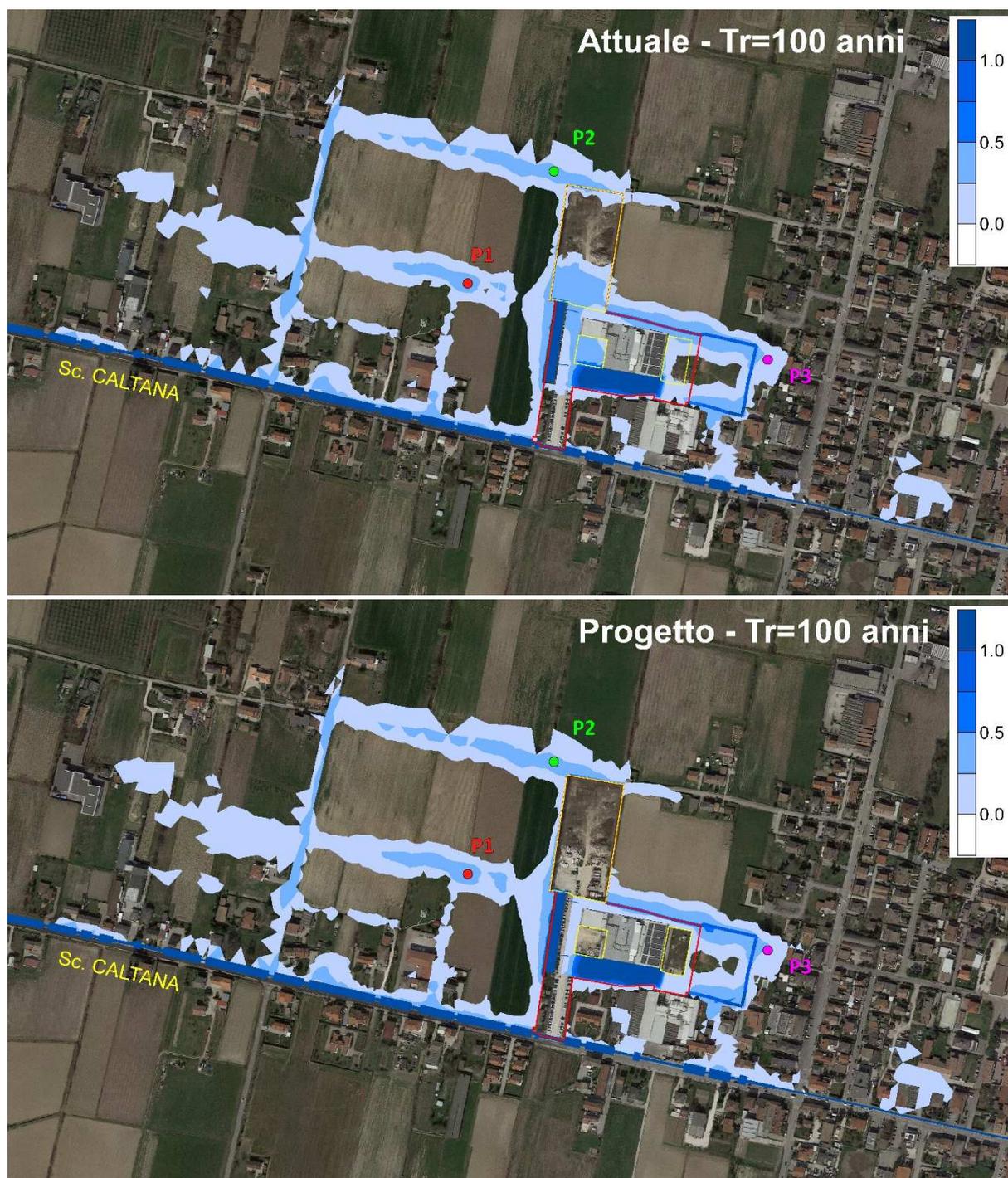


Figura 5.3 - Mappa dei massimi tiranti idrici raggiunti nel corso delle simulazioni dell'evento con $Tr=100$ anni nello stato di fatto (sopra) e nella configurazione di progetto (sotto), nella zona del Comune di Villanova di Camposampiero in cui ricade il sito di Kioene S.p.A. con le aree di intervento. Nella mappa sono indicati i punti P1-P2-P3 in cui sono stati estratti gli andamenti nel tempo dei livelli di allagamento (Figura 5.4).

Verifica di Compatibilità Idraulica ai sensi delle norme tecniche di attuazione del P.G.R.A. per la realizzazione di un parcheggio e dell'ampliamento dell'edificio produttivo nel sito di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero (PD)

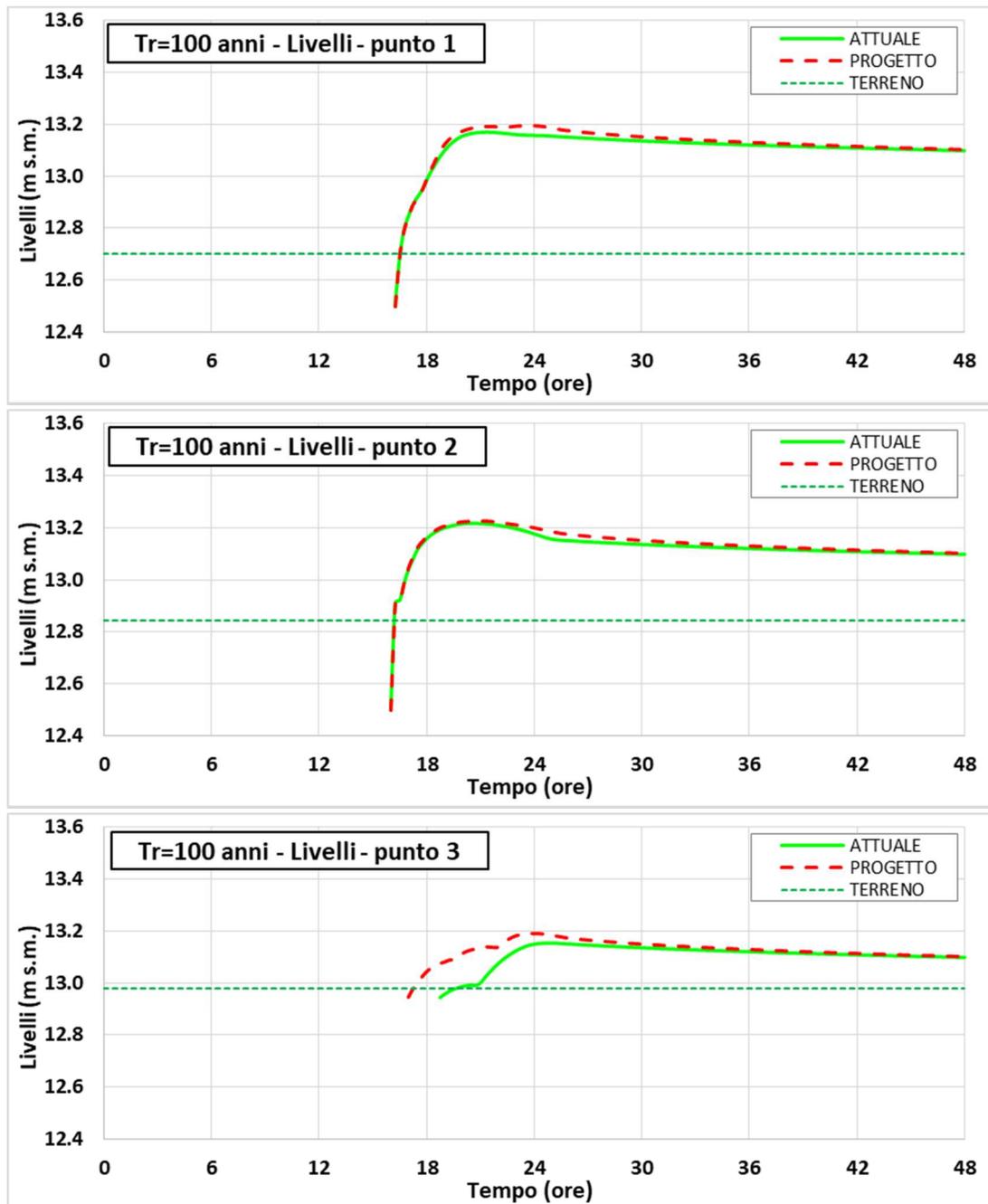


Figura 5.4 - Confronto tra l'andamento dei livelli di allagamento nello stato di fatto e nella configurazione di progetto nel corso della simulazione dell'evento con $Tr=100$ anni nei punti intorno all'area di Kioene S.p.A. la cui posizione è indicata in Figura 5.3.

6. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Le simulazioni illustrate nei capitoli precedenti, effettuate con un modello idrodinamico bidimensionale seguendo la metodologia indicata nella scheda tecnica allegata alle Norme Tecniche di Attuazione del PGRA (Allegato A punti 2.1 e 2.2), hanno evidenziato che gli interventi previsti nel sito aziendale di Kioene S.p.A., nel territorio comunale di Villanova di Camposampiero, non generano un incremento della pericolosità idraulica nell'area interessata dall'intervento, né a monte o a valle della stessa, per l'evento di piena di riferimento, caratterizzato da un tempo di ritorno $Tr=100$ anni.

Il modello, nello scenario relativo allo stato di fatto, fornisce risultati coincidenti a quelli prodotti dall'Autorità di Bacino Distrettuale, dalle quali consegue l'attuale mappatura del pericolo, poiché nelle mappe del PGRA è stata recepita la richiesta di aggiornamento locale delle mappe stesse presentata nella piattaforma SIGMA nel dicembre 2022, approvata con Decreto del Segretario Generale dall'Autorità nel marzo 2023, a sua volta reso esecutivo con la pubblicazione nella G.U. n. 105 del 6 maggio 2023.

Nello scenario di media probabilità (evento con $Tr=100$ anni) qui considerato, il tirante idrico massimo nell'area di intervento, per effetto dell'altimetria locale dei terreni, varia da valori nulli fino a 30-35 cm, nella parte ora più depressa destinata al parcheggio in progetto, fatta eccezione per le zone destinate alle baie di carico-scarico, ribassate rispetto alle quote dei piazzali e delle aree di manovra adiacenti, e al bacino di compensazione delle acque meteoriche interne in cui i tiranti idrici massimi arrivano rispettivamente a circa 1.3 m ed a circa 1.6 m.

La simulazione modellistica dello stato di progetto, ottenuta schematizzando la realizzazione degli ampliamenti del fabbricato esistente in termini di ingombro nel campo di moto, ha dimostrato che l'intervento stesso non produce incrementi significativi del livello idrometrico massimo e quindi del tirante nell'area di intervento e nelle aree limitrofe, essendo le variazioni massime ottenute dalla modellazione dell'ordine di 1-4 cm.

La modellazione ha dimostrato quindi che le correnti locali di allagamento non sono tali da generare condizioni di pericolosità idraulica aggiuntiva rispetto allo stato di fatto e che le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto non inducono criticità o variazioni significative anche nelle aree limitrofe.

In definitiva, ai fini del progetto si tiene conto dei risultati del modello che evidenziano livelli massimi di allagamento di circa 13.2 m s.m. in corrispondenza dell'area in esame, nella configurazione di progetto. Per garantire condizioni di sicurezza idraulica adeguate agli interventi previsti nel sito di Kioene S.p.A., si prevede quindi di posizionare in quota gli ampliamenti del fabbricato esistente, ad una altezza pari ad almeno 13.3 m s.m., superiore al massimo livello di allagamento riscontrato con il calcolo per lo stato di progetto per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni.

La quota di progetto del nuovo parcheggio, pari ad oltre 13.6 m s.m., è invece già ampiamente superiore ai sopra citati livelli massimi di allagamento centenari.

7. APPENDICE B - IL MODELLO MATEMATICO BIDIMENSIONALE

7.1. NOTE GENERALI

Il software di simulazione impiegato nel presente studio è stato sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale ed incorpora in un'interfaccia grafica interattiva il codice di calcolo messo a punto dai Proff. L. D'Alpaos e A. Defina dell'Università di Padova.

Esso è stato impiegato nel recente passato per svolgere numerose indagini sulle condizioni idrauliche dei più importanti corsi d'acqua della pianura veneta e delle reti di canali di numerosi bacini della bonifica e costituisce un valido ed ormai ampiamente collaudato strumento di indagine a supporto di possibili interventi ingegneristici finalizzati al controllo del regime idrodinamico dei corsi d'acqua e per la valutazione degli effetti di opere che possono interferire con il sistema idrografico in particolare in presenza di situazioni di rischio idraulico.

Il modello è basato su di uno schema numerico ad elementi finiti, che risolve le equazioni differenziali che governano il moto bidimensionale di una corrente a superficie libera su bassi fondali, 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. La particolare formulazione dello schema di calcolo consente l'eventuale accoppiamento di elementi bidimensionali e unidimensionali (modello 2D-1D), utilizzando gli uni nelle zone in cui la direzione della velocità non è individuabile a priori, gli altri per descrivere il funzionamento dei canali e dei corsi d'acqua presenti nel dominio di calcolo. È possibile, inoltre, inserire nella schematizzazione anche speciali elementi unidimensionali in grado di descrivere localmente il funzionamento idraulico di manufatti come soglie, traverse, botti a sifone, dispositivi controllati da paratoie o impianti idrovori, ecc..

7.2. LE EQUAZIONI DEL MOTO

Il modello risolve le equazioni differenziali, mediate sulla verticale, che governano il flusso bidimensionale di una corrente a superficie libera su bassi fondali in moto vario considerando anche la presenza di aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l'evoluzione del fenomeno.

Il modulo prevede la discretizzazione del campo di moto mediante sia elementi triangolari (2D) sia elementi lineari (1D). Questi ultimi elementi possono essere convenientemente utilizzati per descrivere i canali di più piccole dimensioni, all'interno dei quali il moto che si sviluppa è sostanzialmente unidimensionale, per schematizzare tratti di condotta di sezione qualsiasi con funzionamento in pressione o a superficie libera e per descrivere situazioni geometriche particolari come rilevati arginali, impianti di sollevamento o tratti tominati.

Le equazioni del moto nelle due direzioni orizzontali x e y mediate sulla verticale e l'equazione di continuità sono le seguenti:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{d}{dt} \left(\frac{q_x}{Y} \right) + \frac{q_x |q|}{K_S^2 H^{10/3}} - \frac{1}{gY} \left(\frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{d}{dt} \left(\frac{q_y}{Y} \right) + \frac{q_y |q|}{K_S^2 H^{10/3}} - \frac{1}{gY} \left(\frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} \right) = 0 \quad (7.2)$$

$$\eta(h) \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla q = 0 \quad (7.3)$$

in cui h indica la quota idrometrica, x, y sono le ascisse spaziali orizzontali correnti, g è l'accelerazione di gravità, K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Strickler, t è il tempo, R_{ij} sono gli sforzi turbolenti (o di Reynolds) nel piano orizzontale in cui i, j indicano le direzioni x, y , e q è la velocità integrata sulla verticale con componenti q_x e q_y secondo le due direzioni orizzontali x, y .

Nelle equazioni precedenti compaiono i termini η, Y e H i quali, nel tempo generico e per ciascun elemento, indicano, rispettivamente, la frazione locale di dominio allagato, il volume d'acqua per unità di superficie e una profondità d'acqua equivalente introdotta per descrivere l'effetto dei termini dissipativi, quando il tirante si riduce e diventa confrontabile con le dimensioni delle irregolarità del terreno. Tali termini sono dati dalle seguenti espressioni (Defina, 2000):

$$\eta(h) = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf}(2Y_a/a_r)] \quad (7.4)$$

$$Y = \int_{-\infty}^h \eta \cdot dz = a_r \left\{ \eta \frac{Y_a}{a_r} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} e^{-4(Y_a/a_r)^2} \right\} \quad (7.5)$$

$$H = Y + 0.27\sqrt{Y \cdot a_r} \cdot e^{-2Y/a_r} \quad (7.6)$$

in cui $\operatorname{erf}()$ è la 'funzione errore', $Y_a = h - h_f$ è l'altezza media locale del fondo e a_r indica l'altezza massima delle irregolarità locali del terreno.

7.3. LO SCHEMA NUMERICO

Si osserva, nelle equazioni (7.1) e (7.2), che l'accelerazione convettiva è, di fatto, considerata in modo lagrangiano, dato che la variazione nel tempo delle velocità mediate lungo la verticale è rappresentata da una derivata totale.

Per la discretizzazione di questo termine si è adottata una tecnica alle differenze finite trascurando, perché piccola, la variazione temporale dell'altezza d'acqua Y . In queste ipotesi, ad esempio, la derivata totale della velocità nella direzione x , è calcolata come segue:

$$\frac{d(q_x/Y)}{dt} \cong \frac{(q_x/Y)' - (q_x/Y)'_0}{\Delta t} \quad (7.7)$$

essendo le grandezze con apice riferite all'istante di calcolo precedente. Conseguentemente la derivata totale delle velocità, calcolata nel generico punto P del campo di moto, si scrive come differenza tra la velocità $(q_x/Y)'$ calcolata nello stesso punto P e la velocità $(q_x/Y)'_0$ calcolata, invece, nel punto P_0 che si determina per integrazione a ritroso nel tempo lungo la "linea di fumo" passante per P (Defina e Bonetto, 1998).

Senza riportare, per semplicità di esposizione, gli sviluppi matematici del metodo adottato, basti dire che tale metodologia ha dato prova, per confronto con i risultati forniti da altri modelli di caratteristiche analoghe, di notevole robustezza e validità per applicazioni di pratico interesse.

Per quel che concerne la soluzione numerica adottata, ci si limita a ricordare che il sistema delle equazioni (7.1), (7.2) e (7.3), nelle incognite h e q , è risolto con il metodo degli elementi finiti, adottando una soluzione secondo uno schema alle differenze finite semi-implicito per le

derivate temporali. Poiché nella discretizzazione spaziale del campo di moto si sono utilizzati elementi finiti di forma triangolari, 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.

7.4. ELEMENTI 2D SPECIALI

Nei sistemi idrografici naturali sono spesso presenti elementi il cui comportamento non può essere descritto in modo semplice e diretto mediante le equazioni appena descritte. Per le resistenze prodotte dalla presenza di vegetazione, ad esempio, che si vanno a sovrapporre a quelle dell'attrito sul fondo, è necessario introdurre una formulazione apposita. Così come, per gli effetti idrodinamici prodotti dalla presenza di pile e altre forme di ostruzione dell'alveo, qualora il grado di dettaglio della griglia di calcolo non sia sufficientemente spinto per poter correttamente descrivere l'idrodinamica locale a piccola scala, è necessario introdurre opportune relazioni aggiuntive che ne tengano conto in modo complessivo. Altri effetti non considerati nelle equazioni presentate nel precedente paragrafo sono, ad esempio, la perdita di volume per infiltrazione o la presenza di piccole porzioni di dominio dove il moto può avvenire in pressione. Si pensi, a tale proposito, al funzionamento di un ponte quando il livello dell'acqua raggiunge la quota dell'impalcato.

Per descrivere queste situazioni, per le quali il moto mantiene ancora carattere bidimensionale, sono introdotti alcuni elementi speciali per i quali, nella fase di costruzione del reticolo di calcolo, è necessario specificare alcuni specifici parametri.

7.5. ELEMENTI UNIDIMENSIONALI

La schematizzazione con elementi bidimensionali della rete idrografica minore presenterebbe non poche difficoltà, poiché 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 nella soluzione numerica, a meno di non adottare passi di integrazione temporale particolarmente ridotti. Inoltre, la schematizzazione di tratti di condotte a sezione chiusa mediante elementi bidimensionali risulta proibitiva. Per questa ragione il modello 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 soggette a prosciugamento, per simulare piccole incisioni profonde in un dominio sostanzialmente bidimensionale o per includere nella schematizzazione tratti di condotte di sezione chiusa.

In pratica, nello schema adottato, 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 sistema idrografico articolato e complesso 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 minori presenti.

I canali unidimensionali, a loro volta, possono essere comunque connessi fra loro, purché siano disposti lungo i lati del reticolo bidimensionale e si appoggino agli stessi nodi. L'accorgimento consente, operativamente, di inserire o disinserire i canali unidimensionali dal reticolo di calcolo senza dover modificare la struttura del reticolo formato dagli elementi bidimensionali (D'Alpaos e Defina, 1995).

Può accadere anche 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 possibili situazioni che si possono presentare sono tre, vale a dire il generico tronco di canale è affiancato da due elementi bidimensionali, da un solo elemento bidimensionale o da nessun elemento bidimensionale, come illustrato in pianta e in sezione in Figura 7.1.

Nel modello, l'equazione dinamica contiene alcune semplificazioni. Si assume innanzitutto trascurabile l'inerzia convettiva. Il modello poi considera solo sezioni trasversali compatte, per quali sia possibile assumere una distribuzione di velocità sensibilmente uniforme. In queste ipotesi, le equazioni dinamica e di continuità sono:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{K_S^2 R_H^{4/3} A^2} = 0 \quad (7.8)$$

$$\eta(h) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (7.9)$$

nelle quali A è l'area della sezione trasversale, R_H è il raggio idraulico, Q la portata e s l'ascissa curvilinea che descrive planimetricamente l'andamento dell'asse del canale.

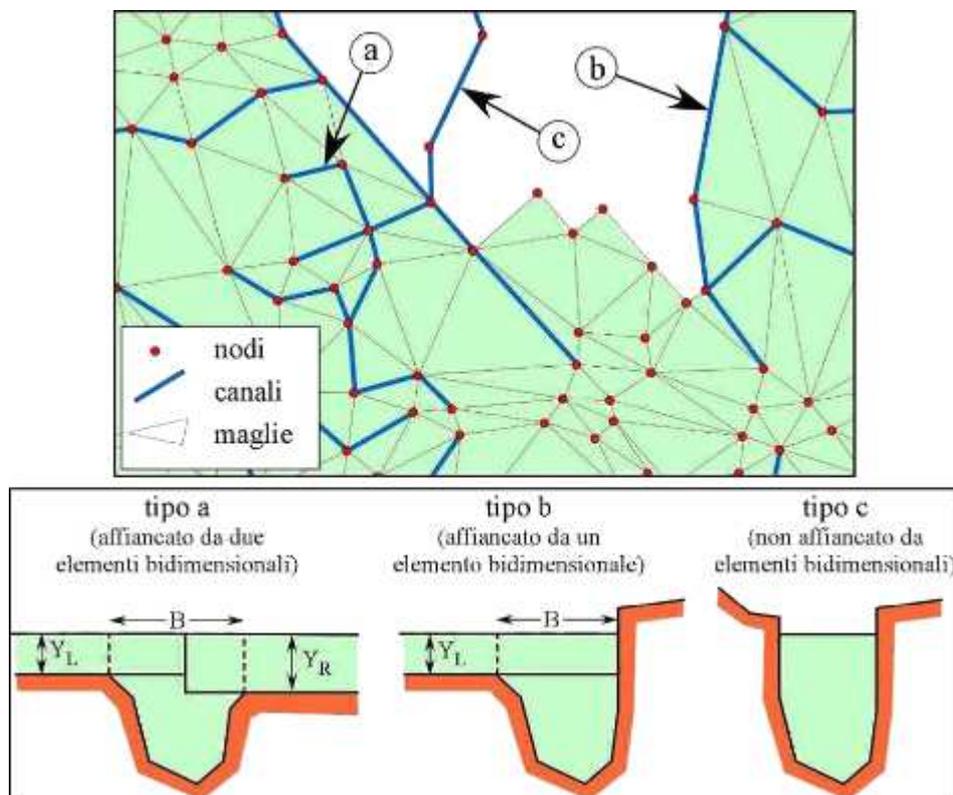


Figura 7.1 - Esempio schematico di elementi unidimensionali e bidimensionali combinati: pianta (sopra) e sezione (sotto).

Come per le equazioni dinamiche bidimensionali, il primo passo consiste nel discretizzare la derivata temporale che compare nella (7.8) alle differenze finite, ottenendo:

$$Q = - \left(\frac{1}{gA\Delta t} + \frac{|Q|}{K_S^2 R_H^{4/3} A^2} \right)^{-1} \left[\frac{\partial h}{\partial s} - \left(\frac{Q}{gA\Delta t} \right) \right] \quad (7.10)$$

nella quale i termini tra parentesi rotonde sono calcolati al passo temporale precedente.

Nel modello, in particolare, sono implementate specifiche procedure per considerare che, per effetto della sovrapposizione tra elementi unidimensionali e bidimensionali (vedi Figura 7.1) una frazione della portata che fluisce lungo i canali unidimensionali è già considerata nel calcolo attraverso gli elementi bidimensionali.

7.6. ELEMENTI 1D SPECIALI

Nei sistemi idrografici complessi, sono spesso presenti elementi morfologici naturali o artificiali che fungono da strutture di contenimento delle acque fino a quando le quote idrometriche non superano un certo livello. Tipica in tal senso è la funzione delle arginature le quali difendono inizialmente dalle acque il territorio adiacente, che è però soggetto ad allagamento una volta che localmente o in modo diffuso le quote idrometriche superino le quote delle sommità arginali.

Per simulare allora con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari (quali argini, rilevati stradali o manufatti che possono modificare apprezzabilmente l'evoluzione del fenomeno) il modello uni-bidimensionale descritto nei paragrafi precedenti è stato modificato prevedendo l'inserimento di una serie di elementi unidimensionali (tronchi) speciali, che consentono di descrivere correttamente le conseguenze di una manovra di regolazione o di eventuale cedimento del sistema delle opere di difesa longitudinali presenti. Mediante l'inserimento di tali elementi è possibile simulare, in particolare, il funzionamento delle arginature, che diversamente non potrebbero essere descritte correttamente utilizzando soli elementi bidimensionali. I rilevati arginali sono perciò schematizzati come soglie sfioranti, per le quali è sufficiente assegnare le caratteristiche geometriche e il valore del coefficiente di portata perché il modello determini, al variare delle quote idrometriche, l'andamento della portata che eventualmente tracima la soglia, considerando condizioni sia di efflusso libero, sia di efflusso rigurgitato.

Altri tronchi speciali inseriti nello schema di calcolo consentono di simulare il funzionamento di soglie o salti di fondo, di brevi tratti di canale in pressione, come sottopassi o botti a sifone. Altri elementi ancora permettono di simulare il funzionamento di paratoie, che possono operare automaticamente comandate dai livelli o dalla direzione del flusso (porte vinciane), oppure riprodurre una scala di deflusso (legame tra livello di monte e portata) assegnata per punti.

7.7. BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Defina, A. Bonetto, I., *Rappresentazione dei termini di accelerazione convettiva in un modello bidimensionale della propagazione di onde lunghe in acque basse*, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 1998, Vol. I, pp. 53-64.
- [4] Defina A., - "Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas". *Water Resources Research*, Vol. 36, NO. 11, Pages 3251-3264, Nov. 2000.
- [5] Defina, A., "Alcune considerazioni sulla modellazione matematica di correnti bidimensionali caratterizzate da piccoli tiranti". Atti del XXVII convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 settembre 2000, Vol. I, 255-262.
- [6] Defina, A., "Numerical experiments on bar growth". *Water Resources Research*, Vol. 39, NO. 4, 1092, 2003.
- [7] Stansby, P.K. A mixing-length model for shallow turbulent wakes, *J. Fluid Mech.*, vol. 495, pp. 369–384, DOI: 10.1017/S0022112003006384, 2003.