



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI ENTE NAZIONALE AVIAZIONE CIVILE



AEROPORTO "MARCO POLO" DI TESSERA - VENEZIA

Concessionaria del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



COMMESSA

MASTER PLAN 2023 - 2037

PIANIFICAZIONE

ELABORATO

SICUREZZA IDRAULICA E GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA

**Studio idrologico-idraulico del bacino di bonifica Cattal
per il Masterplan 2037 dell'Aeroporto Marco Polo di Tessera (VE)**

COD. MIA MACRO INT.: in fase di assegnazione

CODICE MIA: in fase di assegnazione

COD. C.d.P.: 8.3.1

CODICE ELABORATO
PI ID 01 1 00

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROV.	P.M. SAVE	
0	Nov. 2023	Prima emissione	TI	CV	DT	R. Favaro	NOME FILE: PI-ID01.1-00_Modello.docx
							FILE DI STAMPA: PI-ID01.1-00_Modello.pdf
							SCALA: -

PROGETTISTA



Tosato Ingegneria S.r.l.
via Monte Santo, n° 11
31036 - Istrana (TV)
T. 0422 582537 - F. 0422 411754
info@tosatoingegneria.com

PROGETTISTI
Tosato Ingegneria S.r.l.

Ing. Daniele Tosato
Ing. Corrado Vazzoler

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
SAVE S.p.A.

Ing. Davide Bassano

Direttore tecnico: Ing. Daniele Tosato

COMMITTENTE

SAVE S.p.A.
A.M./R.U.P.

Ing. Corrado Fischer

SAVE S.p.A.
POST HOLDER
PROGETTAZIONE

Ing. Franco Dal Pos

ALLEGATO VERBALE
PP001-CDP8.3.1-MP-REV00

Studio idrologico-idraulico del bacino di bonifica Cattal per il Masterplan 2037 dell'Aeroporto Marco Polo di Tessera (VE)

INDICE

1.	Obiettivi dello studio	2
2.	Definizione degli scenari di studio.....	4
2.1	Inquadramento territoriale e idrografico del bacino di bonifica Cattal nella configurazione pre-interventi	9
2.2	Scenario 1: “pre-interventi”.....	15
2.3	Scenario 2: “2037 solo cassa”.....	16
2.4	Scenario 3: “2037 con idrovora”	21
3.	Studio idrologico – idraulico del bacino Cattal.....	24
3.1	Analisi idrologica.....	24
3.1.1	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.....	24
3.1.2	Ietogrammi di progetto	26
3.1.3	Definizione dei sottobacini idrografici.....	27
3.1.4	Modello di trasformazione afflussi deflussi.....	30
3.1.5	Idrogrammi per sottobacino.....	40
3.2	Analisi idraulica	59
3.2.1	Descrizione del modello monodimensionale.....	59
3.2.2	Descrizione del modello bidimensionale.....	59
3.2.3	Definizione delle geometrie del modello	60
3.2.4	Definizione delle condizioni al contorno	67
3.3	Calibrazione del modello	70
3.3.1	Individuazione degli eventi per la calibrazione	70
3.3.2	Evento del 29/1-4/2	72
3.3.3	Evento del 21-22/9.....	76
3.4	Risultati della modellazione	79
3.4.1	Scenario 1 pre-interventi	79
3.4.2	Scenario 2 - 2037 solo cassa.....	86
3.4.3	Scenario 3 - 2037 con idrovora	94
4.	Conclusioni.....	106

1. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il presente studio è stato affidato a Tosato Ingegneria Srl da SAVE SpA, società di gestione dell'Aeroporto Marco Polo di Venezia, come attività complementare e di supporto alla redazione del nuovo Masterplan 2037. Rappresenta inoltre un aggiornamento di precedenti studi idraulici del bacino di bonifica Cattal, risalenti agli anni 2015-2016 e realizzati ad integrazione del precedente Masterplan 2021 a supporto della progettazione di una serie di interventi idraulici da esso previsti. L'ambito in cui ricade l'area oggetto di studio, individuato in Figura 1, è situato tra il fiume Dese, il canale Scolmatore del Marzenego (ex canale Bazzera) e la Laguna di Venezia.

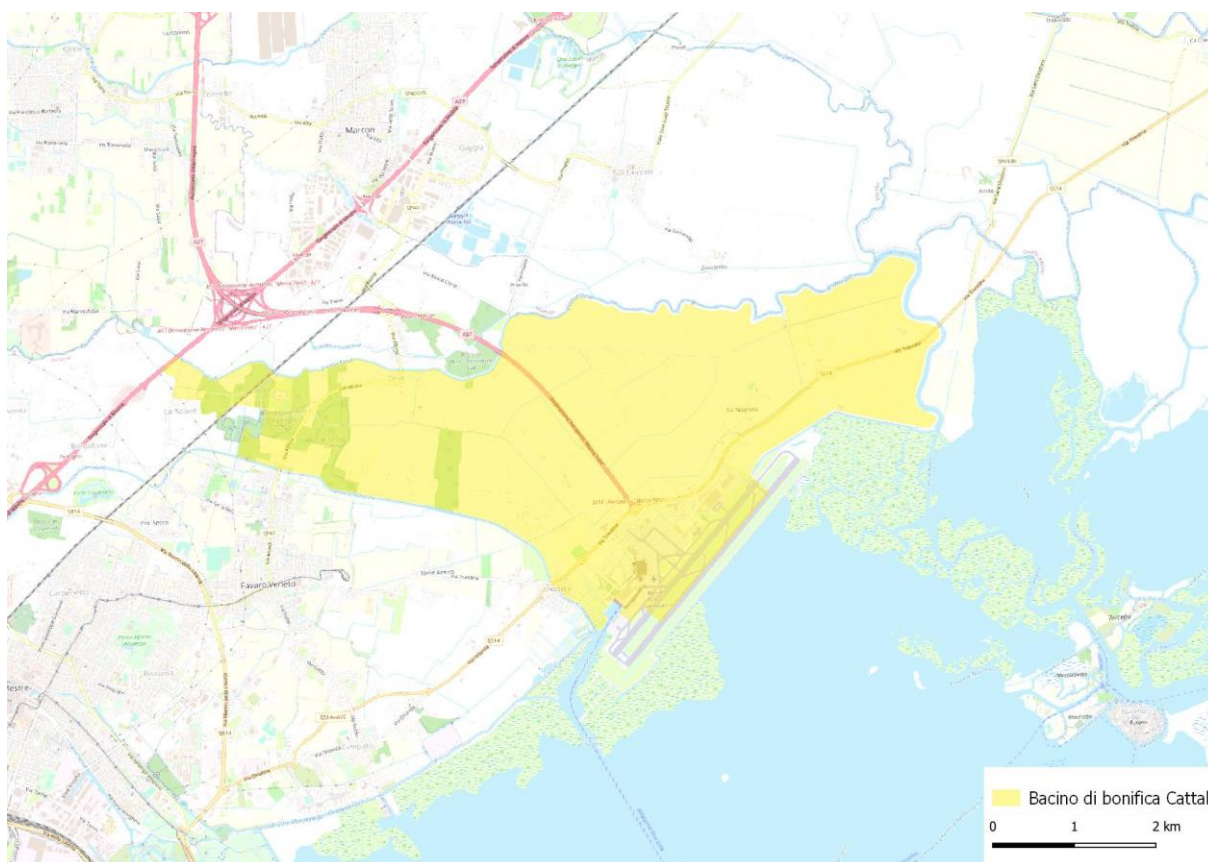


Figura 1. Inquadramento dell'area di studio (basemap: Open Street Map).

L'aggiornamento dello studio ha avuto una duplice finalità:

1. Verificare la compatibilità idraulica delle trasformazioni previste dal nuovo Masterplan 2037, ai sensi della DGR 2948/2009, per effetto delle nuove opere idrauliche programmate e di quelle realizzate tra il 2015 e il 2022 o in corso di realizzazione, al fine di semplificare l'iter autorizzativo dei futuri interventi previsti fino al 2037;
2. Verificare le condizioni di sicurezza idraulica non solo del sedime aeroportuale, ma dell'intero comparto di bonifica, a seguito delle trasformazioni attuate a partire dal 2015 e

di quelle programmate dal nuovo Masterplan, per effetto delle nuove opere idrauliche programmate, di quelle già realizzate tra il 2015 e il 2022 e di quelle in corso di realizzazione. L'aggiornamento del precedente studio idrologico-idraulico del bacino Cattal ha riguardato pertanto in modo particolare i seguenti elementi:

1. Analisi idrologica del bacino, mediante l'utilizzo del software HEC-HMS 4.4, con il quale sono stati definiti gli idrogrammi di piena da utilizzare come condizione al contorno di progetto del modello idraulico, a partire dalle curve di possibilità pluviometrica aggiornate ai dati del 2019.
2. Implementazione di un modello idraulico accoppiato mono e bidimensionale del bacino Cattal sviluppato con il software HEC-RAS 6.1.3. Il dominio bidimensionale è stato definito mediante dati LiDAR.
3. Calibrazione del modello con misurazioni fornite dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive.
4. Simulazioni per tempi di ritorno di 50 e 100 anni, realizzate per diversi scenari, in particolare per mettere a confronto la condizione precedente l'anno 2015 e lo scenario futuro previsto al 2037.

2. DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI STUDIO

L'attività di modellazione ha previsto l'implementazione di diversi scenari, definiti dalla combinazione della configurazione morfologica e idrologica del bacino con quella geometrica della rete.

Con riferimento alla caratterizzazione morfologica e idrologica del bacino sono state definite due configurazioni. La prima è quella relativa allo stato del bacino ante 2015 nella quale non erano stati ancora avviati gli interventi urbanizzativi previsti dal precedente Masterplan aeroportuale 2015-2021.

La seconda configurazione è quella prevista dal nuovo Masterplan 2022-2037 nella fase conclusiva di tutti gli interventi prevista per l'anno 2037.



Figura 2. Estratto dalla tavola 01-04 Stato attuale (al 31-12-2013) del Masterplan 2021.



Figura 3. Individuazione delle aree di nuova urbanizzazione che interessano il bacino di bonifica Cattal, rispetto alla configurazione 2014, in base alle previsioni del Masterplan 2021 e del Masterplan 2037.

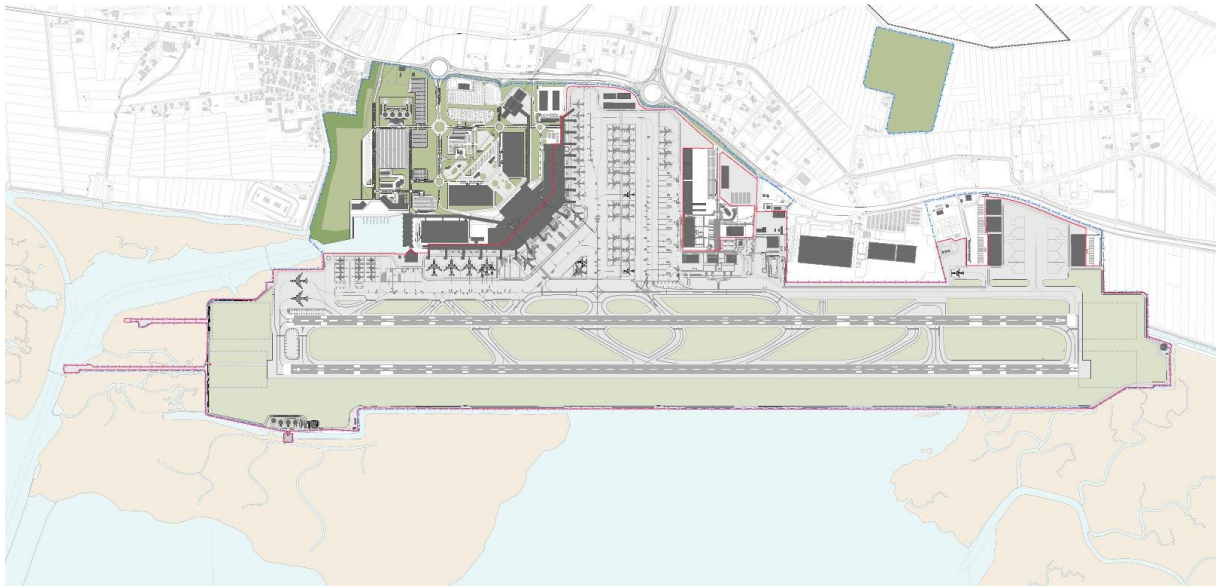


Figura 4. Configurazione al 2037 prevista nel nuovo Masterplan 2022-2037.

In entrambe le configurazioni (2014 e 2037) la morfologia del bacino è definita mediante modello digitale del terreno elaborato sulla base di un rilievo LiDAR, realizzato nell'anno 2008 dal Ministero dell'ambiente.

Il rilievo LiDAR viene reso disponibile suddiviso in varie tavole *raster*, georiferite rispetto al sistema di riferimento WGS84.

Il rilievo è stato rielaborato georeferenziando le tavole rispetto al sistema Gauss Boaga fuso ovest, ricampionando i *raster* con cella 1x1 m e realizzando il mosaico delle varie tavole in un unico *raster*, mediante gli strumenti del *software* QGis.

Nella figura seguente è rappresentato in scala di colori il modello digitale del terreno ottenuto dal rilievo LiDAR.

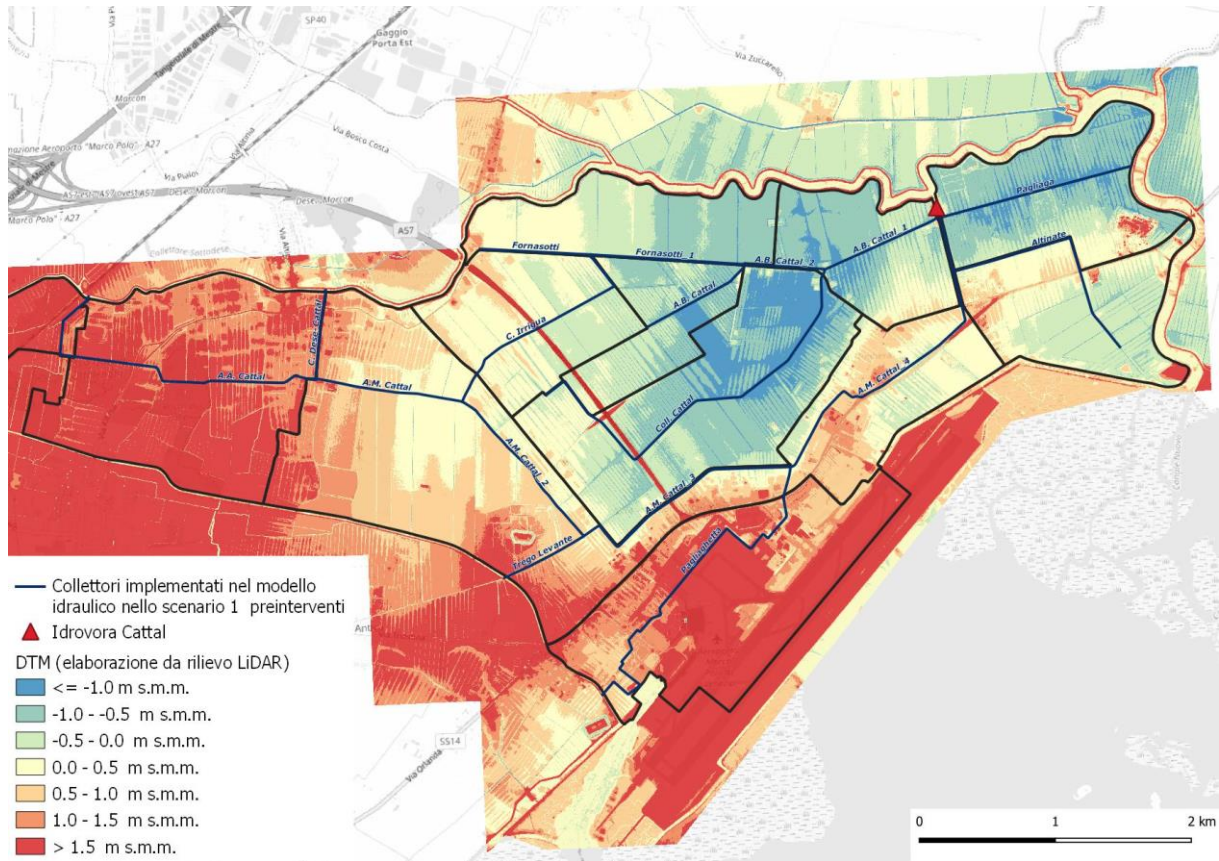


Figura 5. Elaborazione del DTM da dati LiDAR, con risoluzione 1x1 m, sul bacino di bonifica Cattal.

La Figura 5 descrive con elevato dettaglio la morfologia del bacino Cattal e la differenza esistente tra le quote dei terreni appartenenti rispettivamente al sistema delle acque basse e a quello delle acque alte e medie.

Nel sistema delle acque basse i terreni presentano quote inferiori al livello del mare, fino oltre la quota di -1 m s.l.m.m.; tali aree sono individuabili in sinistra idraulica del collettore Acque Medie Cattal fino alla confluenza del fosso Altinate e si estendono fino alle arginature del fiume Dese.

Il sistema delle acque alte e medie è caratterizzato invece da terreni con quota superiore al livello del mare, con valori anche oltre i $+2$ m s.l.m.m. nel comparto acque alte e all'interno del sedime aeroportuale; fanno eccezione solo alcune aree nella parte di valle del bacino, in particolare i terreni drenati dal fosso Altinate che presentano, soprattutto a ridosso del fiume Dese e del margine lagunare, quote fino a quasi $-0,5$ m s.l.m.

In Figura 6 si riporta la mappa dei terreni classificati rispetto alla quota del medio mare.

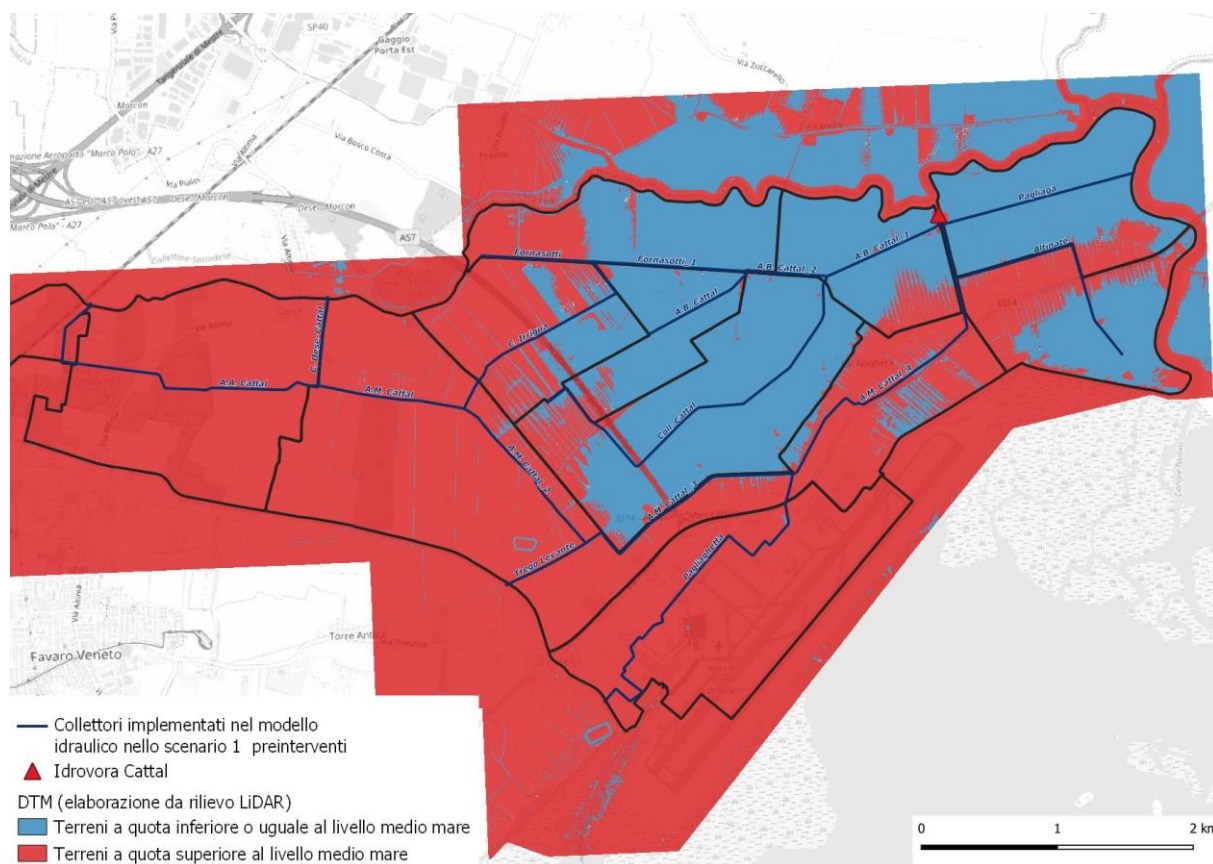


Figura 6. Mappa dei terreni rispetto alla quota del medio mare. Elaborazione del DTM da dati LiDAR, con risoluzione 1x1 m, sul bacino di bonifica Cattal.

Nella configurazione 2037 la morfologia è stata integrata inserendo nel modello digitale del terreno la cassa di laminazione delle Acque Medie (denominata intervento MP01 nel precedente Masterplan) elaborata sulla base delle quote indicate negli elaborati di as-built.

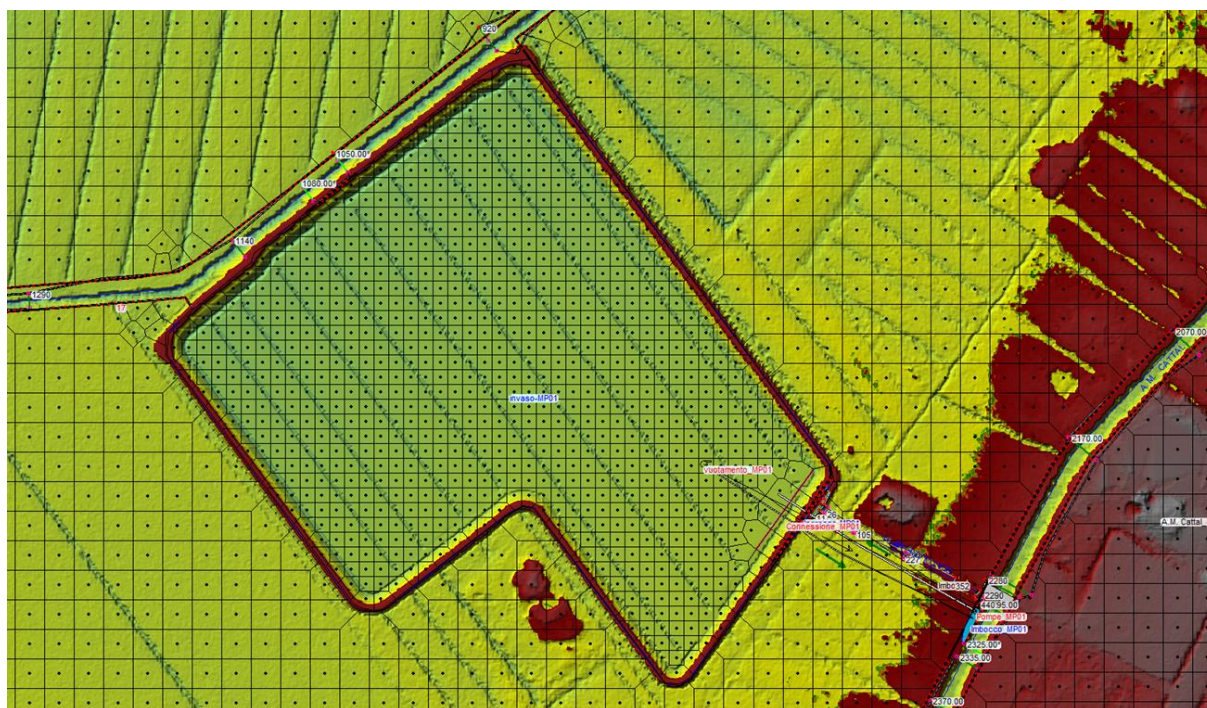


Figura 7. Implementazione nel DTM ottenuto da LiDAR del modello digitale della cassa MP01 elaborato in base agli as-built (immagine estratta dal modello HEC-RAS).

Per quanto riguarda la definizione delle geometrie per i diversi scenari, le configurazioni implementate per la modellazione sono tre.

La prima descrive lo stato della rete e delle opere idrauliche nella configurazione ante 2015, ovvero precedente l'esecuzione di una serie di opere idrauliche internamente ed esternamente al sedime aeroportuale previste dai precedenti Masterplan e quelle programmate nel nuovo Masterplan al 2037.

La seconda configurazione descrive invece lo stato della rete e delle opere idrauliche al 2037, a seguito della realizzazione degli interventi sopra citati, a meno della nuova idrovora consortile che è attualmente in fase di realizzazione lungo il canale Acque Medie Cattal.

Nell'ultima configurazione viene inserita nella precedente geometria anche la nuova idrovora consortile.

A partire dalle configurazioni morfologiche-idrologiche e geometriche della rete sono definiti tre scenari per le analisi modellistiche.

Lo scenario 1, denominato "pre-interventi" vede la combinazione delle configurazioni morfologica-idrologica e geometrica relative allo stato ante 2015. Tale scenario è stato utilizzato per la calibrazione del modello, in particolare con riguardo al modello idrologico e alla definizione dei parametri di calcolo, con riferimento a due eventi significativi avvenuti nell'anno 2014, per i quali sono disponibili i dati di misura dei livelli dei collettori Cattal Acque Medie e Acque Basse in corrispondenza dell'impianto Cattal, e i tempi di funzionamento dei gruppi pompa.

Lo scenario 1 pre-interventi rappresenta pertanto la condizione di partenza con la quale poter misurare gli effetti sul bacino delle trasformazioni previste e delle opere idrauliche realizzate, in corso di realizzazione e programmate dal nuovo Masterplan aeroportuale.

Lo scenario 2, denominato “2037 solo cassa” combina la configurazione morfologica-idrologica relativa al 2037 con la geometria relativa al 2037 ma senza la nuova idrovora consortile. Lo scenario 2 è stato utilizzato per verificare la compatibilità idraulica ai sensi della DGR 2948/2009 degli interventi urbanizzativi realizzati nel sedime aeroportuale a partire dal 2015 e fino al 2037, per effetto delle opere idrauliche già realizzate e quelle di futura realizzazione, con riferimento in particolare alla cassa di laminazione sul Canale Acque Medie Cattal.

Lo scenario 3, denominato “2037 con idrovora” combina la configurazione morfologica-idrologica relativa al 2037 con la geometria relativa al 2037 comprendente la nuova idrovora consortile e il risezionamento del collettore Acque Medie Cattal fino all'opera di derivazione verso la nuova idrovora. Lo scenario 3 è stato utilizzato per verificare il miglioramento della sicurezza idraulica del bacino di bonifica Cattal a seguito della realizzazione di tutte le opere idrauliche previste.

2.1 Inquadramento territoriale e idrografico del bacino di bonifica Cattal nella configurazione pre-interventi

La seguente descrizione è un estratto dal precedente studio idrologico-idraulico del bacino Cattal, redatto nell'anno 2015.

Il bacino di bonifica Cattal occupa la porzione di territorio compresa tra il fiume Dese e il canale Scolmatore del Marzenego (ex canale Bazzera). Si tratta di una fascia di terreno della lunghezza di circa 10 km e di larghezza variabile da qualche centinaio di metri a quasi 4 km. I terreni hanno giacitura digradante da ovest verso est, per cui all'estremità occidentale è spesso possibile drenare i terreni a gravità, senza bisogno di sollevamento meccanico mediante idrovora, mentre i terreni nella porzione orientale sono posti al di sotto del livello medio della laguna e richiedono quindi il pompaggio.

Il bacino pertanto è suddiviso in tre comparti (Figura 8), denominati rispettivamente Acque Alte, Acque Medie e Acque Basse, a loro volta frazionabili in sottobacini:

- **comparto Acque Alte Cattal (307 ha):**
 - *sottobacino Ca'Solaro (59 ha)*, compreso tra la tangenziale di Mestre (ex casello dismesso), la ferrovia Trieste - Venezia e l'area del nuovo Bosco di Mestre. È una superficie per lo più agricola che di norma scarica le proprie acque nel canale Scolmatore, ma che in piena può alimentare il collettore Acque Alte Cattal. Il sottobacino è stato oggetto di riordino e modifiche nel recente passato: nel Piano Generale di Bonifica del Consorzio Dese Sile

e nel Master Plan Aeroportuale, infatti, esso si estendeva a monte tra il fiume Dese e via Eridesio per circa ulteriori 26 ha;

- sottobacino Collettore Acque Alte Cattal (248 ha), compreso approssimativamente tra l'area del forte Cosenz e via Ca'Colombara. È attraversato da via Altinia e comprende la porzione sud occidentale dell'abitato di Dese. Esiste un collegamento tra il collettore Acque Alte e il fiume Dese, che in condizioni particolarmente favorevoli consentirebbe lo scarico a gravità dei deflussi in Dese. Con maggiore frequenza tale collegamento è utilizzato con flusso inverso per alimentazione irrigua del bacino Cattal. Di norma pertanto i deflussi del sottobacino proseguono nel collettore Acque Medie Cattal.
- **comparto Acque Medie Cattal (822 ha):**
 - sottobacino Collettore Acque Medie Cattal (467 ha), che da via Ca'Colombara si estende verso est, tenendosi a sud ovest di via Litomarina, e che comprende il forte Bazzera. Raggiunta la SR 14, il bacino occupa una stretta fascia di terreno prossima alla strada fino a Ca'Noghera. Dalle Officine Aeronavali verso est fanno parte del bacino anche i terreni compresi tra la SR 14 e il ramo nord del canale Osellino. Il sottobacino ha carattere agricolo nella parte di monte, mentre risulta alquanto urbanizzato nell'area latitante la Triestina. A nord di via Paliaga a Ca'Noghera il collettore Acque Medie Cattal prosegue verso nord, fino a raggiungere l'idrovora Cattal sulle rive del Dese;
 - sottobacino Pagliaghetta (230 ha), che racchiude parte dell'area aeroportuale ed altre superfici a sud della SR 14. Il collettore Pagliaghetta ha origine da una presa irrigua sul canale Scolmatore, attraversa l'area dell'aerostazione mediante un lungo tratto scatolare e sottopassa la SR 14 all'altezza del parcheggio Brusutti (via Ca'Rugger), raggiungendo in breve il collettore Acque Medie;
 - sottobacino Altinate (125 ha), eminentemente agricolo, posto tra il canale Osellino e il tratto terminale del fiume Dese, a cavallo della SR 14.
- **comparto Acque Basse Cattal (766 ha):**
 - sottobacino Collettore Canaletta Irrigua (121 ha), attraversato dalla bretella autostradale per l'aeroporto;
 - sottobacino Collettore Fornasotti (111 ha), tra via Ponte Alto e il fiume Dese;
 - sottobacino Collettore Acque Basse Cattal (174 ha), relativo all'area tra Ca'Noghera e l'idrovora Cattal;
 - sottobacino Collettore Cattal (227 ha), che da via Litomarina fino a via Ponte Alto occupa la parte centrale e più depressa del bacino;

- sottobacino Collettore Pagliaga (133 ha), sito a est dell'idrovora Cattal, nell'ansa del fiume Dese, e collegato alla restante porzione del comparto mediante una botte a sifone.

All'idrovora Cattal arrivano dunque due canali, uno relativo alle Acque Alte e Medie e uno relativo alle Acque Basse. I canali hanno livelli idrometrici significativamente differenti e per tale motivo, salvo emergenze, gli apporti dei differenti sottobacini vengono tenuti distinti, richiedendosi una minore prevalenza per sollevare i deflussi del bacino delle Acque Medie.

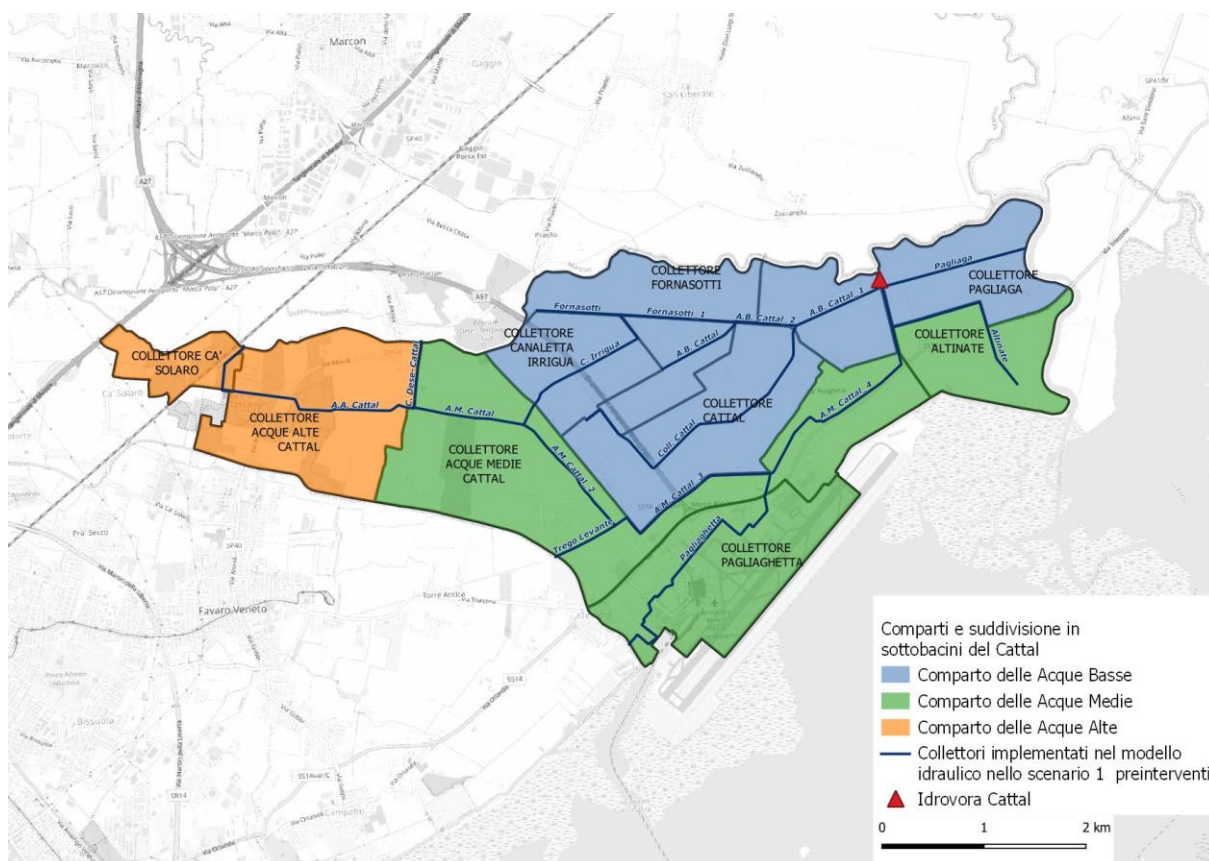


Figura 8. Comparti e sottobacini del bacino Cattal.

L'idrovora Cattal (Figura 9), costruita negli anni 20, è dotata di sei gruppi pompa così ripartiti:

Tabella 1. Gruppi pompa dell'idrovora Cattal.

Comparto	Pompa n.	Portata nominale [m ³ /s]	Prevalenza nominale [m]
Acque Basse (766 ha)	1	3.300	2.95
	2	1.300	3.00
	4	1.300	3.00
	6	1.020	3.30
Acque Alte e Medie (1129 ha)	3	1.500	2.80
	5	1.500	2.80

Pertanto, pur tenendo presente che le portate sollevate possono variare anche sensibilmente in caso di alta marea, si può affermare che l'idrovora è in grado di allontanare 6.92 m³/s dal canale delle Acque Basse e 3.00 m³/s dal canale delle Acque Medie. I livelli minimi di lavoro delle pompe sono di 8.00 m per le acque medie e 7.00 m per le acque basse¹.

Lungo il collettore Acque Medie Cattal vi è la presenza di un manufatto partitore (Figura 10) in grado di far defluire, attraverso il collettore denominato Canaletta Irrigua, parte delle portate provenienti da monte (sottobacino Acque Alte e parte del sottobacino Acque Basse) verso il comparto Acque Basse e quindi verso l'idrovora Cattal settore acque basse. Inoltre in caso di piena è prevista l'apertura della paratoia di collegamento (Figura 11), con la quale il mandracchio delle acque medie e quello delle acque basse sono messi in comunicazione. Parte delle portate provenienti dalle Acque Medie sono convogliate verso i gruppi pompa delle Acque Basse.

In base alle considerazioni proposte si può dire che l'impianto lavora con un coefficiente udometrico medio sull'intero bacino Cattal di 5.23 l/s ha e che l'insieme delle opere idrauliche disposte lungo la rete di bonifica consentono, opportunamente manovrate, di sfruttare la limitata capacità dell'idrovora per tutelare maggiormente un comparto piuttosto che un altro.

¹ I livelli sono riferiti alla quota -10.00 s.m.m. come è uso nella bonifica per evitare quote negative. Vale la pena ricordare anche che il livello medio del mare di riferimento della rete altimetrica nazionale non corrisponde con lo zero del mareografo di Punta della Salute, di cui si differenzia di 23 cm. Pertanto il livello di alta marea misurato a Punta della Salute nel 1966, pari a +194 cm, corrisponde a un valore di 1.71 m s.m.m. e a una quota di 11.71 m nel sistema della bonifica.



Figura 9. Vista da monte dell'idrovora Cattal. A sinistra il mandracchio del comparto delle acque basse, mentre il collettore delle acque medie raggiunge l'idrovora dietro al muro in primo piano.



Figura 10. Manufatto partitore di portata posto lungo il collettore Acque Medie Cattal.



Figura 11. Vista della paratoia di collegamento delle Acque Medie Cattal con le Acque Basse Cattal in corrispondenza dell'idrovora Cattal.

2.2 Scenario 1: “pre-interventi”

Lo scenario della rete ante 2015 si riferisce alla configurazione della rete idraulica precedente agli interventi che hanno interessato in particolare il sottobacino del Pagliagheta eseguiti all'interno del sedime aeroportuale, oltre a un ulteriore intervento lungo il canale Acque Medie Cattal che ha previsto il risezionamento di un tratto dello stesso e la realizzazione di una cassa di laminazione in sinistra idraulica.

Nella configurazione pre-interventi il collettore Pagliagheta attraversava il sedime aeroportuale prevalentemente con sezione a cielo aperto, a meno del tratto in corrispondenza del piazzale aeromobili, dove il canale è tuttora tombinato.

Il tratto tombinato al di sotto del piazzale aeromobili era stato realizzato come primo intervento di un più ampio progetto di sistemazione, che prevedeva anche la realizzazione di una nuova idrovora per il canale Acque Medie Cattal. Il tratto tombinato era posto sulla livelletta di progetto delle nuove opere, determinando perciò allo sbocco un controsalto di circa 1 m, che faceva sì che nel collettore stazionasse permanentemente un significativo volume d'acqua.

Anche l'attraversamento della SR 14 del collettore Pagliagheta, realizzato dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive, dovendosi realizzare con sezione e quote coerenti con la prevista configurazione di progetto, presentava una quota di fondo del condotto assai inferiore alla quota di scorrimento del canale Pagliagheta a monte e a valle, determinando dunque un controsalto di 1.23 m, con un invaso permanente di acqua nel condotto.

I canali della rete idraulica principale inseriti nel modello idraulico nella configurazione dello Scenario 1 – pre-interventi sono quelli rappresentati alla successiva Figura 12.

Ulteriori elementi descrittivi delle geometrie della rete sono riportati al par. 3.2.3.

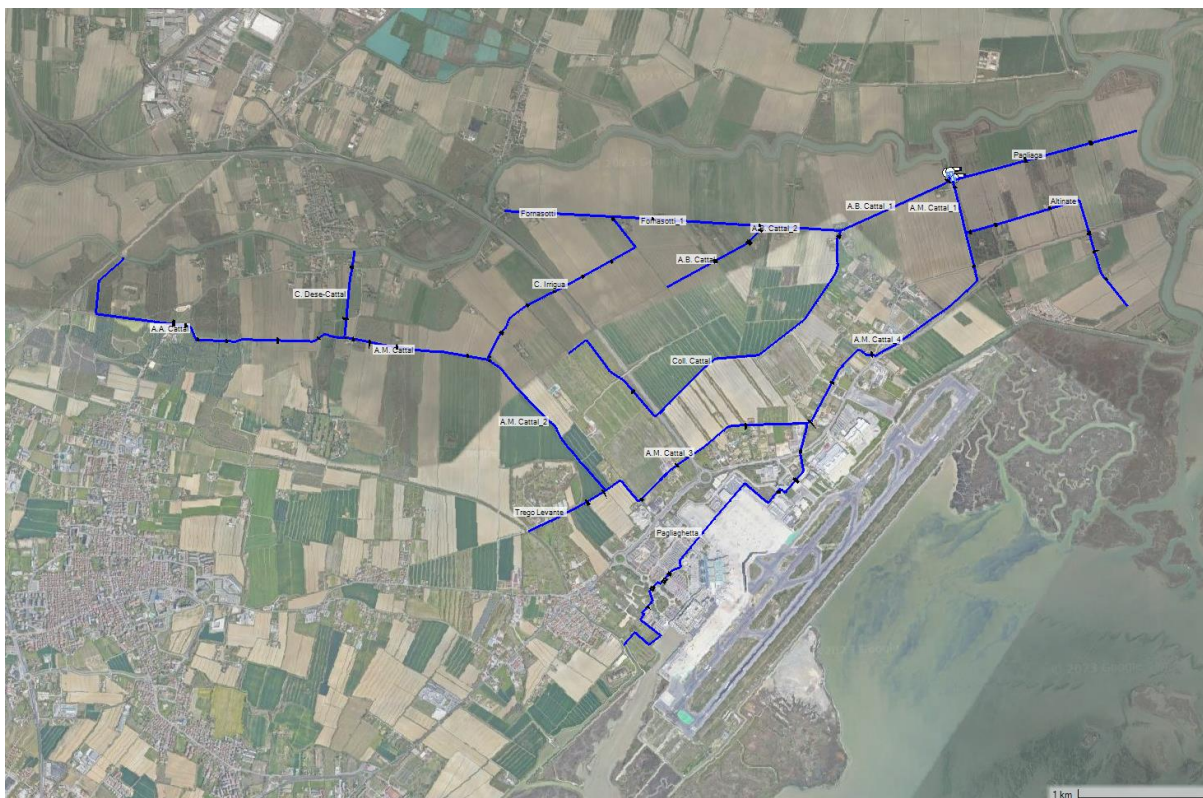


Figura 12. Rete implementata nel modello HEC-RAS – Scenario 1 – pre-interventi.
Immagine estratta da Ras Mapper.

2.3 Scenario 2: “2037 solo cassa”

Lo scenario 2 rappresenta la situazione post-interventi, in cui sono state implementate tutte le modifiche determinate dagli interventi programmati fino al 2037, ad eccezione del nuovo impianto idrovoro consortile previsto sul collettore delle Acque Medie.

Nel bacino del Pagliaghetta sono stati implementati gli interventi denominati, con i codici del precedente Masterplan aeroportuale 2021: MP03 – Scatolare Pagliaghetta, MP04 – Deviazione Pagliaghetta, MP05 – Scolmatore Pagliaghetta prima fase, 6.03 doppia canna, con i necessari adeguamenti legati ai futuri sviluppi urbanizzativi, come ad esempio la deviazione dell’MP04 lungo il perimetro della nuova stazione RFI, la riprotezione e il risezionamento di alcuni tratti del Pagliaghetta a monte dell’attraversamento di Via G. Galilei

Gli interventi sopra elencati hanno previsto la disconnessione dell’attuale collegamento tra Pagliaghetta a monte dello scatolare sotto le piste e l’inversione del flusso secondo un nuovo tracciato a cielo aperto (MP04) che attraversa il parcheggio P6 più a nord, si immette in uno scatolare (MP03) che si raccorda nuovamente allo scatolare sotto il piazzale.

Anche il tratto a cielo aperto del Pagliaghetta a valle dello scatolare è stato dismesso fino alla botte sotto la Triestina, sostituito da uno scatolare doppia canna (una con funzione di separazione delle

acque di prima pioggia, la seconda per l'allontanamento della seconda pioggia), realizzando così la nuova livelletta del fondo e il raccordo con il fondo dello scatolare e della botte sotto la Triestina. L'intervento ha previsto inoltre la prosecuzione del risezionamento del canale, con approfondimento del fondo, fino all'opera di derivazione verso la cassa di laminazione, denominata MP01, realizzata tra i collettori Acque Medie e Acque Basse Cattal.

Infine è stato realizzato un nuovo tratto di scatolare, denominato MP05 – Scolmatore Pagliaghetta, che raccoglie parte delle acque meteoriche scolanti dalle piste, dai raccordi e da alcune urbanizzazioni in airside, recapitandole in Pagliaghetta a monte dell'attraversamento della Triestina. Il nome “scolmatore” deriva dal fatto che tale collettore dovesse costituire il primo stralcio di uno scatolare più lungo che raggiungesse un impianto idrovoro dedicato alle acque meteoriche dell'aeroporto, separando idraulicamente il sedime aeroportuale dal bacino delle acque medie. Tale soluzione non ha però avuto seguito e si è optato per un'altra configurazione.

In Figura 13 e Figura 14 sono rappresentati rispettivamente una planimetria di dettaglio degli interventi idraulici ad oggi realizzati all'interno del sedime aeroportuale (tratta dallo studio idraulico relativo al Masterplan 2021) e di quelli previsti nel Masterplan 2037.

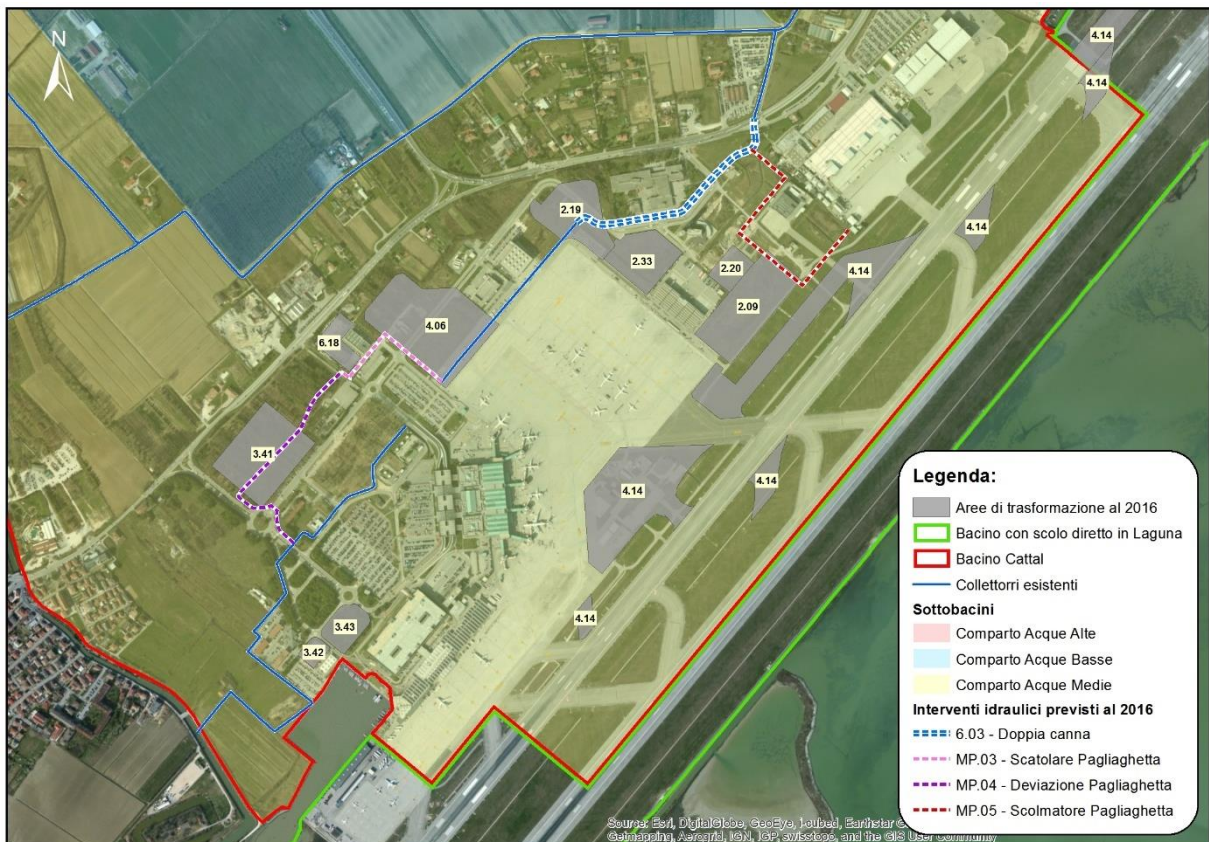


Figura 13. Planimetria di dettaglio delle opere idrauliche realizzate internamente al sedime aeroportuale. Immagine estratta dal precedente studio idraulico.

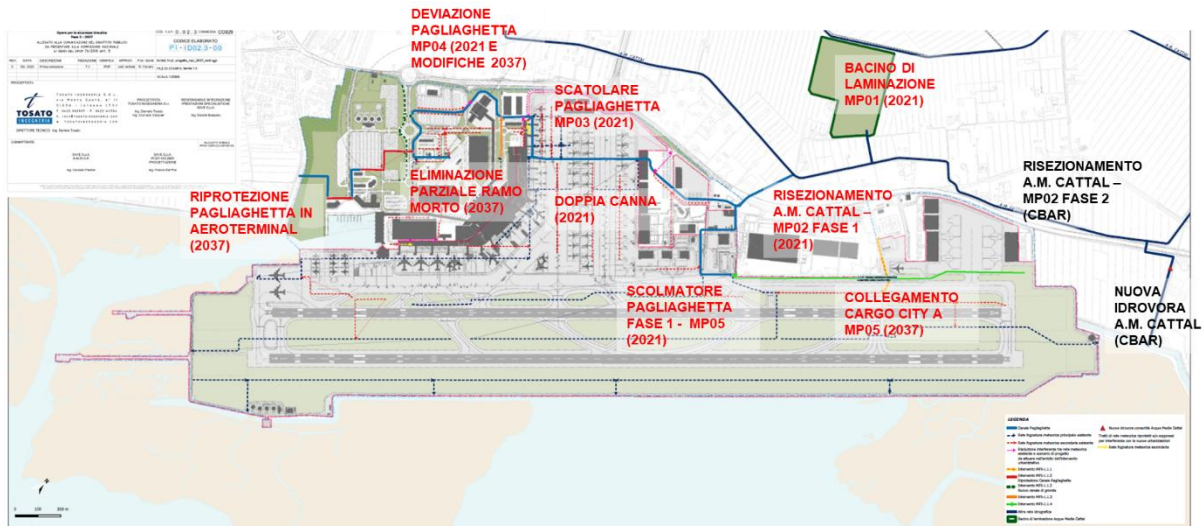


Figura 14. Planimetria di dettaglio delle opere idrauliche già realizzate e di quelle di progetto nel Masterplan 2021 e nel Masterplan 2037 (didascalie in rosso) e di quelle in fase di realizzazione da parte del Consorzio di bonifica Acque Risorgive (didascalie in nero) – Immagine estratta dallo studio idraulico del MP 2037.

L'intervento MP01 – Cassa di laminazione Acque Medie Cattal, oltre all'obiettivo di perseguire un miglioramento della sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal, aveva come principale finalità quella di creare un significativo volume d'invaso sul quale far convergere le esigenze d'invarianza idraulica legate allo sviluppo aeroportuale.

La cassa di laminazione è costituita da un'area agricola arginata, di estensione pari a circa 12 ha, con sfioro dall'alveo del Cattal Medio a servizio della rete di bonifica. Per garantire una maggiore flessibilità di funzionamento è stato previsto l'alloggiamento di un gruppo pompe, costituito da due pompe della portata di 1,75 m³/s ciascuna, in corrispondenza dell'opera di presa: ciò garantisce lo scollo delle portate di piena del collettore Acque Medie Cattal, a prescindere dai livelli che vi si realizzano. Il vuotamento della cassa può avvenire sia verso il Cattal Acque Medie sia verso il Cattal Acque Basse (la vasca è costruita esattamente tra i due alvei dei canali citati) in base alla differenza di quota fra alveo e vasca.

Il volume di laminazione è stimato in oltre 100'000 m³. Tale volume consente di sopperire in gran parte alle problematiche della rete di scolo, facente capo al Cattal ed ai relativi impianti idrovori, garantendo un sufficiente volume di laminazione anche per eventi estremi.

Propedeutico al completamento e all'entrata in funzione della cassa è stato l'intervento MP02 – primo stralcio del Masterplan 2021 (Intervento 6.05 modificato - Ricalibratura scoli Pagliaghetta e Cattal Acque Medie fino all'area di espansione sistema Acque Medie) che ha previsto la ricalibratura degli scoli Pagliaghetta e Cattal acque Medie fino all'opera di presa della cassa di laminazione, garantendo una profondità e una pendenza di fondo uniforme ed una geometria compatibile con le portate transitanti.

Se da un lato l'intervento ha generato un sensibile aumento della sicurezza idraulica, sia per il bacino aeroportuale sia per l'intero sistema Cattal, dall'altro lato, mettendo a sistema un significativo volume d'invaso, l'intervento ha consentito (in accordo con gli enti competenti) di demandare ad esso l'onere di reperire il volume compensativo legato agli sviluppi infrastrutturali e urbanizzativi che interessano il sedime aeroportuale, come indicati in sede di MP, necessari per il rispetto del principio d'invarianza idraulica, ai sensi della DGR 2948/09.

Le opere sono state finanziate interamente da SAVE, per un importo di 4,9 milioni di euro per MP01 e 1,4 milioni di euro per ricalibratura del Canale Acque Medie Cattal e Pagliaghetta tratto di valle (MP02 primo stralcio).

In Figura 15 si riporta un estratto del progetto della cassa di laminazione denominata MP01.



Figura 15. Bacino di laminazione del Canale Acque Medie Cattal - Intervento MP01.
Immagine estratta dal progetto esecutivo dell'intervento

I canali della rete idraulica principale inseriti nel modello idraulico nella configurazione dello Scenario 2 “2037 solo cassa” sono quelli rappresentati alla successiva Figura 16. Ulteriori elementi descrittivi delle geometrie della rete sono riportati al par. 3.2.3.



Figura 16. Rete implementata nel modello HEC-RAS – Scenario 2 “2037 solo cassa” (la cassa di laminazione è perimetrata in verde). Immagine estratta da Ras Mapper.

2.4 Scenario 3: “2037 con idrovora”

Lo scenario 3 vede sostanzialmente implementata a partire dallo scenario 2 la nuova idrovora consortile con il relativo canale di collegamento al Collettore Acque Medie Cattal.

Nell’ambito dell’intervento MP02 secondo stralcio del Masterplan 2021 (Intervento 6.05 modificato: Ricalibratura Cattal Acque Medie, nuova botte a sifone attraversamento SS Triestina. Nuova idrovora CBAR, canale di arrivo alla nuova idrovora consortile), che prevede la riorganizzazione e l’adeguamento della rete di bonifica a valle della cassa di laminazione, il Consorzio di bonifica Acque Risorgive ha avviato i lavori della nuova idrovora con recapito nell’Osellino morto (Intervento P139b).

Per la nuova idrovora è prevista una capacità di sollevamento di 8 m³/s con predisposizione per il raddoppio della portata, che è in attesa di approvazione da parte della Regione Veneto.

L’opera risulta co-finanziata da SAVE per un importo di 1,7 milioni di euro.

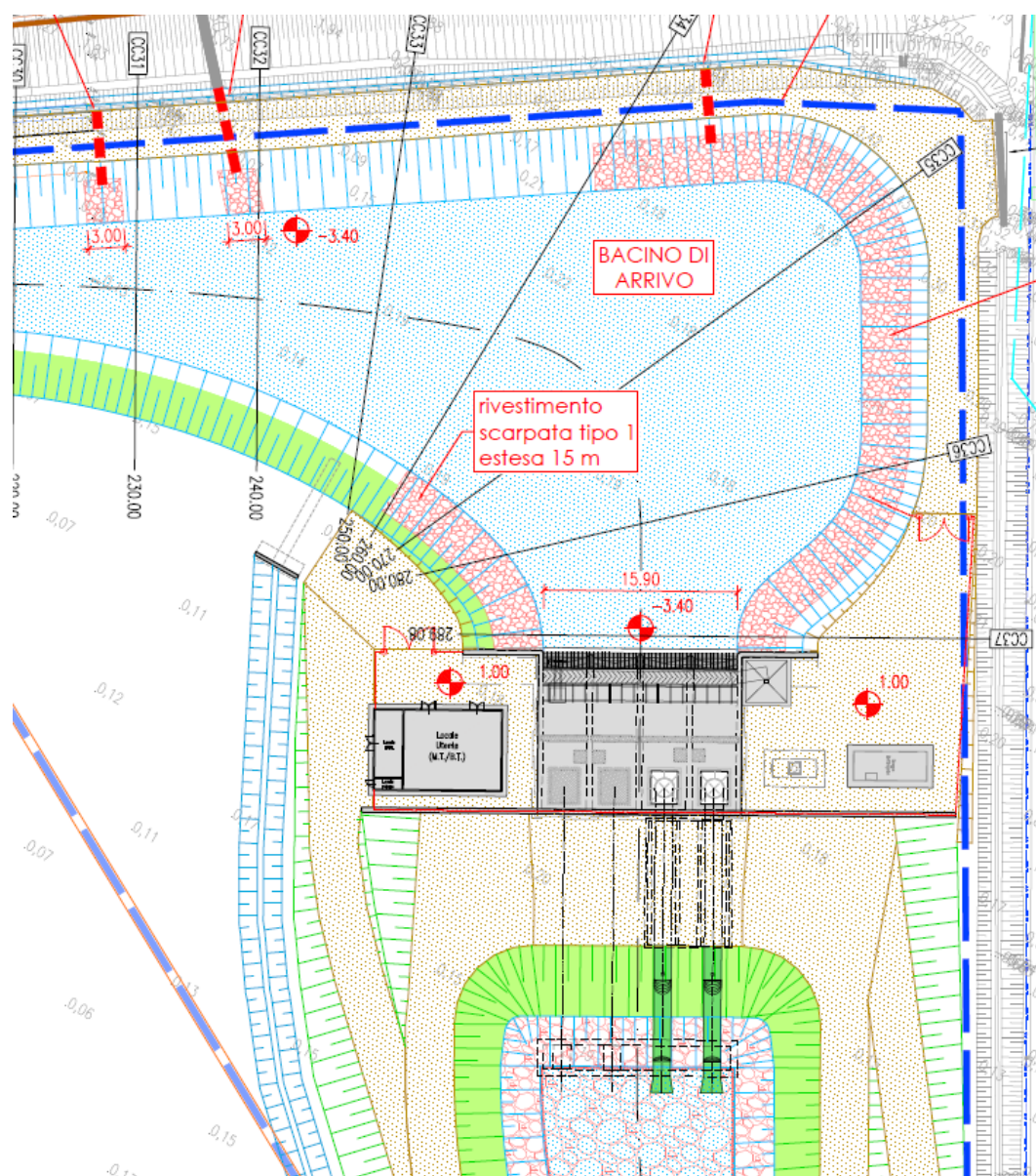


Figura 17. Nuova idrovora del Consorzio di bonifica Acque Risorgive – intervento cod. P139b. Immagine estratta dal progetto esecutivo dell'impianto idrovoro.

I canali della rete idraulica principale inseriti nel modello idraulico nella configurazione dello Scenario 3 “2037 con idrovora” sono quelli rappresentati alla successiva Figura 18.

Ulteriori elementi descrittivi delle geometrie della rete sono riportati al par. 3.2.3.



Figura 18. Rete implementata nel modello HEC-RAS – Scenario 3 “2037 con idrovora” (la cassa di laminazione è perimetrata in verde). Immagine estratta da Ras Mapper.

3. STUDIO IDROLOGICO – IDRAULICO DEL BACINO CATTAL

Lo studio idrologico idraulico del bacino Cattal è stato sviluppato originariamente nel 2015 per il dimensionamento delle strutture idrauliche previste dal Masterplan 2021 dell'Aeroporto Marco Polo, per l'allontanamento delle acque meteoriche dal sedime aeroportuale, e per la verifica di compatibilità delle nuove urbanizzazioni in ambito aeroportuale rispetto al bacino Cattal.

Il presente studio costituisce un aggiornamento del precedente, con riferimento alla pianificazione del nuovo Masterplan 2022-2037.

Per l'attività di aggiornamento del modello idrologico idraulico si sono utilizzati, per la parte idrologica il software HEC-HMS versione 4.4, mentre per la parte idraulica il software HEC-RAS (River Analysis System, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center), nella versione 6.1.3 rilasciata a maggio 2022. A partire dalla versione 5.0 HEC-RAS consente la modellazione bidimensionale del moto.

Nel presente studio è stato implementato un modello accoppiato mono-bidimensionale: la modellazione monodimensionale riguarda il moto all'interno dell'alveo, la modellazione bidimensionale avviene invece nel dominio extra-alveo. La connessione tra il dominio monodimensionale e quello bidimensionale avviene mediante l'inserimento nel modello di strutture laterali opportunamente definite.

Nei seguenti paragrafi si riportano brevi descrizioni dei modelli utilizzati e degli elementi implementati per il presente studio.

3.1 *Analisi idrologica*

Il codice di calcolo utilizzato per la modellazione idrologica dei sottobacini è HEC-HMS; esso ha richiesto la definizione dello ietogramma di progetto, a partire dall'analisi pluviometrica, la descrizione accurata della geometria del bacini e dei sottobacini definiti dal reticolo idrografico, la caratterizzazione di proprietà fisiche del territorio quali la capacità di infiltrazione e l'uso del suolo che governano i meccanismi di separazione degli afflussi e la trasformazione di essi in deflussi, oltre che una stima dei parametri che ne governano la propagazione.

Nei paragrafi seguenti sono descritte tutte le componenti del modello idrologico implementato e i risultati ottenuti.

3.1.1 *Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica*

Con riferimento all'ambito oggetto di studio, non sono disponibili osservazioni pluviometriche validate derivanti da pluviometri o pluviografi installati all'interno del bacino Cattal.

Ci si è avvalsi, per la definizione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica, dei risultati dello studio promosso dall'ANBI Veneto “*Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione*

di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento - Aggiornamento 2019 con dati al 31/12/2017", a firma degli ingegneri A. Fiume e G. Lazzaro, ed in particolare l'allegato relativo al comprensorio del Consorzio di bonifica Acque Risorgive, in cui ricade il bacino Cattal. Il lavoro citato ha individuato le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica sulla base di un'analisi regionalizzata dei dati di pioggia disponibili, basando le nuove stime delle altezze di precipitazione attese su un campione mediamente di circa 25 anni.

Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica impiegate per l'analisi idrologica del bacino Cattal, espresse secondo la relazione:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t,$$

sono state calcolate in base ai dati di precipitazione registrati alle stazioni di misura dell'ARPAV riportate alla Tabella 2 e appartenenti alla Regione omogenea Acque Risorgive – sottozona omogenea 3.

Tabella 2. Stazioni impiegate per il calcolo delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica relative all'ambito d'intervento.

RAGGRUPPAMENTO	STAZIONE
Regione omogenea ACQUE RISORGIVE Sottozona omogenea 3	Campodarsego
	Grantorto
	Trebaseleghe
	Mogliano Veneto
	Roncade
	Zero Branco
	Cavallino Treporti

I parametri a , b , e c ottenuti per la suddetta sottozona 3 sono quelli riportati alla successiva Tabella 3.

Tabella 3. Parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.
Regione omogenea Acque Risorgive – Sottozona omogenea 3.

TR [anni]	a	b	c
2	19.6	9.3	0.812
5	23.7	10.0	0.807
10	26.1	10.4	0.798
20	28.0	10.7	0.787
30	28.8	10.9	0.78
50	29.7	11.1	0.77
100	30.5	11.3	0.755
200	30.9	11.5	0.740

3.1.2 Ietogrammi di progetto

Nell'analisi idrologica la precipitazione considerata è quella corrispondente alle curve segnalatrici riportate al precedente paragrafo, per durata di 24 ore e tempi di ritorno di 5, 30, 50 e 100 anni e strutturata mediante lo ietogramma Chicago con picco centrale. Si tratta di una distribuzione temporale della precipitazione che assicura che, per ciascun tempo di ritorno scelto e per ogni intervallo t di durata possibile, si realizzi la massima precipitazione prevista dalla curva segnalatrice. Si ottiene pertanto un diagramma di intensità di precipitazione (Figura 19), caratterizzato da una fase centrale di pioggia di notevole intensità e da altezze di precipitazione via via decrescenti all'inizio ed alla fine dell'evento. Il vantaggio del metodo consiste nel fatto che, qualunque sia la durata di pioggia che più cimenta il bacino (tipicamente quella del cosiddetto tempo di corrvazione, differente da bacino a bacino), per tale durata si osserva la massima precipitazione attesa.

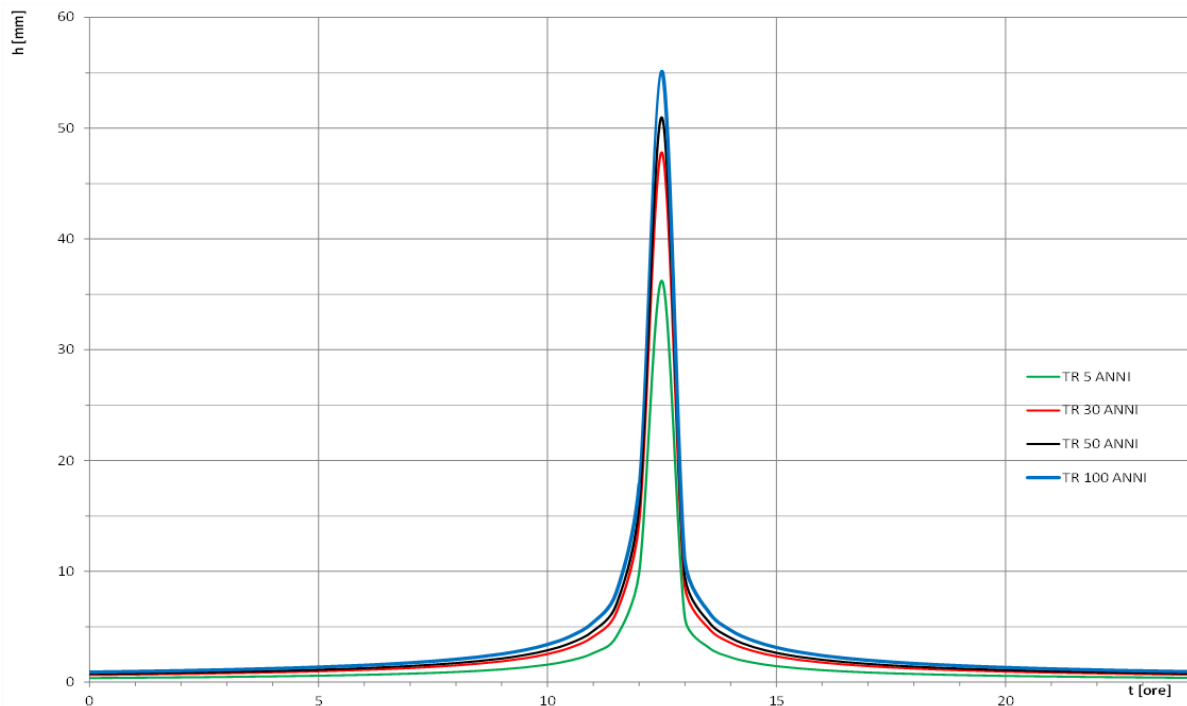


Figura 19. Ietogrammi Chicago di progetto per diversi tempi di ritorno analizzati.

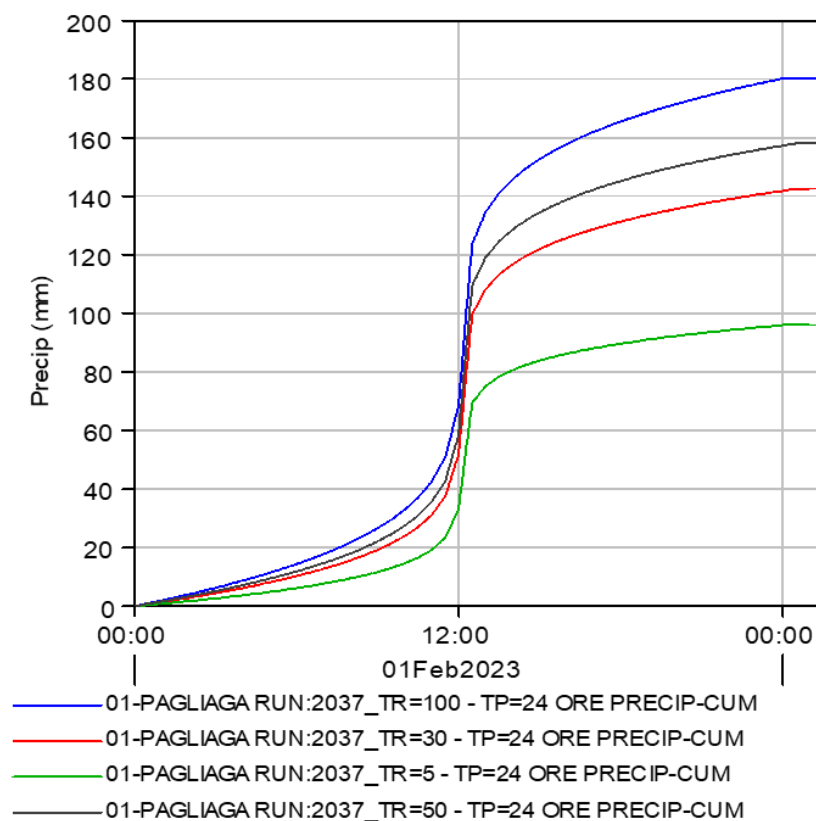


Figura 20. Precipitazione cumulata, espressa in mm, utilizzando lo Ietogrammi Chicago per durata 24 ore, per diversi tempi di ritorno analizzati.

3.1.3 Definizione dei sottobacini idrografici

Aspetto fondamentale per l'analisi idraulica è la definizione dei bacini tributari di ciascun collettore. Considerato il dettaglio richiesto nel caso in esame, a partire dal reticolo idrografico e dai bacini rappresentati, diviene importante studiare ad una scala maggiore gli aspetti idrologici, individuando alcuni sottobacini afferenti a ciascun tronco dei collettori oggetto di modellazione.

La perimetrazione dei sottobacini ha seguito una procedura empirica basata sull'analisi congiunta del rilievo di campagna e della rete secondaria e minore non oggetto di modellazione. L'individuazione qualitativa della geomorfologia del comprensorio ha permesso di perimetrare i sottobacini afferenti a ciascun tronco, ricercando il maggior dettaglio entro il sedime aeroportuale in modo da poter seguire con accuratezza gli effetti connessi agli sviluppi urbanistici previsti (Tabella 4 e Figura 21).

Tabella 4. Sottobacini del bacino Cattal nella configurazione 2014.

CODICE SOTTOBACINO	COMPARTO	AREA [km ²]
01-Pagliaga	Acque basse Cattal	1.335
02-Altinate	Acque medie Cattal	1.247
03-Ca' Solaro	Acque alte Cattal	0.586

CODICE SOTTOBACINO	COMPARTO	AREA [km²]
04-Acque Alte Cattal	Acque alte Cattal	2.478
05-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	2.519
06-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.600
07-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.166
08-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.219
09-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.551
10-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.591
11-Canaletta Irrigua	Acque basse Cattal	1.209
12-Fornasotti	Acque basse Cattal	1.107
13-Collettore Cattal	Acque basse Cattal	2.272
14-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.751
15-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.987
16-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
17-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.176
18-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.358
19-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
20-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.202
21-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.766
22-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.140
23-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.020

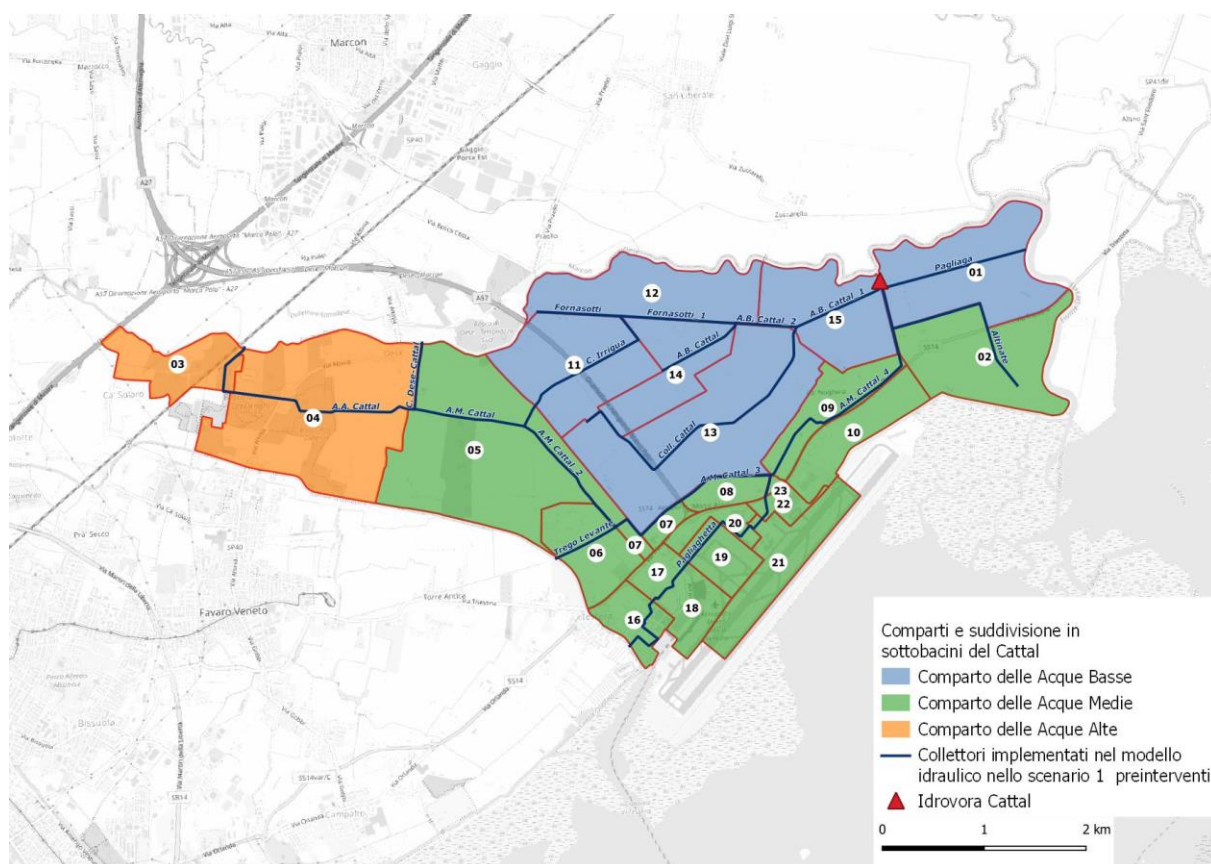


Figura 21. Sottobacini implementati nel modello idrologico in HEC HMS, nella configurazione 2014.

La configurazione dei sottobacini al 2037 è stata definita a partire dall'analisi delle trasformazioni previste in ambito aeroportuale.

L'ipotesi del modello è che il bacino Cattal resti invariato, morfologicamente ed idrologicamente, al di fuori del sedime aeroportuale, fatta eccezione per la cassa di laminazione e per l'area di sviluppo prevista a nord est dell'attuale sedime che vede la realizzazione della futura cargo city aeroportuale e della adiacente fuel farm.

La suddetta trasformazione interessa il sottobacino denominato 10-Acque Medie Cattal, che viene ripartito, nella configurazione 2037 in tre ulteriori sottobacini. Per l'area che interessa lo sviluppo aeroportuale (fuel farm e cargo city) si prevede il collettamento delle acque meteoriche verso lo scatolare MP05, quindi verso il bacino del Pagliagheta (sottobacino 24-Collettore Pagliagheta). I due sottobacini residui (10-Acque Medie e 25-Acque Medie) continuano invece a scaricare nel collettore delle Acque Medie.

Tabella 5. Sottobacini del bacino Cattal nella configurazione 2037.

CODICE SOTTOBACINO	COMPARTO	AREA [km²]
01-Pagliaga	Acque basse Cattal	1.335
02-Altinate	Acque medie Cattal	1.247
03-Ca' Solaro	Acque alte Cattal	0.586
04-Acque Alte Cattal	Acque alte Cattal	2.478
05-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	2.519
06-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.600
07-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.166
08-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.219
09-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.551
10-Acque Medie Cattal	Acque medie Cattal	0.121
11-Canaletta Irrigua	Acque basse Cattal	1.209
12-Fornasotti	Acque basse Cattal	1.107
13-Collettore Cattal	Acque basse Cattal	2.272
14-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.751
15-Acque Basse Cattal	Acque basse Cattal	0.987
16-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
17-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.176
18-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.358
19-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.331
20-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.202
21-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.766
22-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.140
23-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.020
24-Collettore Pagliagheta	Acque medie Cattal	0.313
25-Acque Medie Cattal	Acque Medie Cattal	0.186

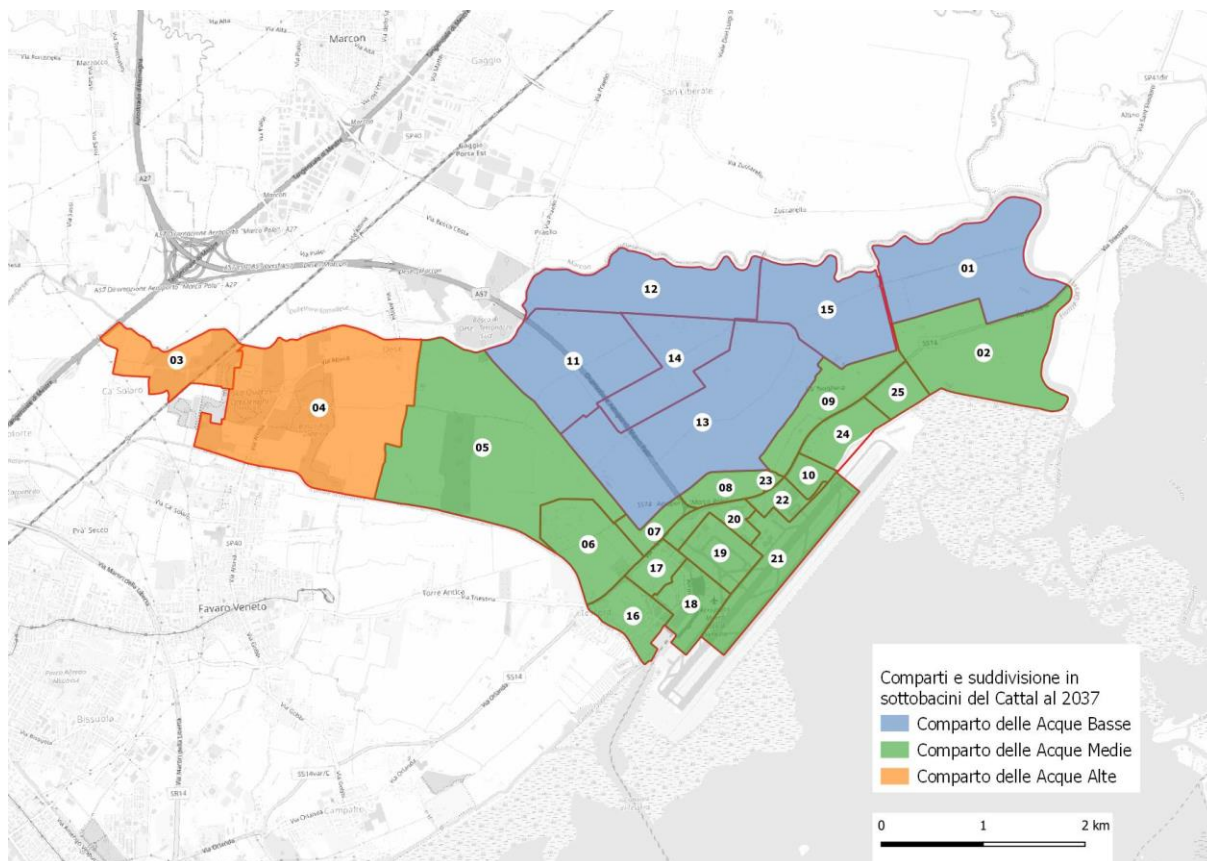


Figura 22. Sottobacini implementati nel modello idrologico in HEC HMS, nella configurazione 2037.

3.1.4 Modello di trasformazione afflussi deflussi

La risposta idrologica di un bacino idrografico dipende da un insieme di processi di diversa natura che interessano gli elementi costitutivi del bacino stesso (stati versante e stati canale); essi possono essere riassunti nei seguenti:

- la produzione di deflusso efficace all'interno di ciascun elemento costitutivo del bacino;
- il trasporto della precipitazione efficace all'interno dello stato versante fino all'ingresso di questa nella rete idrografica;
- la propagazione dei deflussi efficaci lungo la rete canalizzata.

Il meccanismo che regola la produzione di deflusso efficace è governato da un bilancio del contenuto d'acqua che, in questa sede, verrà considerato alla scala del sottobacino; tale bilancio, nella sua formulazione più completa, tiene conto dell'evoluzione temporale dell'intensità di precipitazione, della frazione di precipitazione intercettata dalla vegetazione e che quindi non raggiunge la superficie del terreno, della frazione d'acqua che viene allontanata dal terreno per evaporazione e traspirazione delle piante, della frazione d'acqua che defluisce superficialmente e che quindi costituisce la risposta rapida del bacino, ed infine del flusso che si infila nel terreno e che in parte può contribuire alla risposta idrologica in tempi più lunghi ed in parte viene considerato perso poiché rimane legato alle particelle di terreno o contribuisce alla ricarica della falda.

Lo ietogramma efficace rappresenta quindi la pioggia che, idealmente, contribuisce alla formazione della piena, la pioggia cioè che, tramite ruscellamento superficiale e scorrimento nei collettori, giunge nei tempi più brevi alla sezione di chiusura, formando così i valori elevati di portata. La parte restante dello ietogramma, che comunque rappresenta spesso un volume non indifferente della pioggia complessivamente caduta, produce la saturazione del terreno superficiale ed alimenta la falda sotterranea, oppure defluisce lentamente, attraverso moti filtranti negli strati superficiali del suolo, e raggiunge la sezione di chiusura del bacino dopo molto tempo, senza contribuire così alla formazione del picco dell'idrogramma di piena.

Il processo fisico di produzione dei deflussi può essere descritto da un modello che, attraverso le necessarie semplificazioni, sia in grado di coglierne i caratteri fondamentali e che, attraverso il valore assunto dai parametri, aderisca al particolare caso studio.

3.1.4.1 *Stima della pioggia efficace con il metodo del CN*

In condizioni di piena alcuni termini che compaiono nel bilancio del contenuto d'acqua nel suolo diventano trascurabili. Possono essere trascurate le perdite per evapotraspirazione dal momento che si suppone che durante un evento di piena sia diverso da zero il termine di precipitazione in ingresso e possono anche essere trascurati i deflussi profondi perché caratterizzati da tempi di arrivo non confrontabili con i tempi caratteristici dell'evento.

Per tale ragione la definizione dello ietogramma netto, o efficace, a partire dallo ietogramma totale, può essere ottenuta più semplicemente attraverso il metodo *Curve Number* del *Soil Conservation Service* (SCS-CN).

Tale metodo individua il volume di precipitazione efficace Q a partire dall'altezza di precipitazione totale P , in funzione del volume complessivo immagazzinabile nel terreno S . Tutte le variabili sono espresse in mm.

Nelle ipotesi del metodo, il deflusso è inizialmente nullo, fino a che l'afflusso meteorico P non raggiunge un valore di soglia pari al 20% del volume immagazzinabile nel terreno S . Dopo tale fase, una parte dell'apporto meteorico si trasforma in pioggia efficace, in proporzione sempre crescente, man mano che l'evento procede.

Il parametro S è sostituito nella pratica corrente da un indice adimensionale, chiamato *Curve Number*, che varia tra 0 e 100. Per $CN=0$ il bacino non produce alcun deflusso ($S=\infty$), mentre per $CN=100$ risulta del tutto impermeabile ($S=0$), per cui P e Q si equivalgono identicamente.

Le equazioni del metodo SCS da applicare sono le seguenti:

$$Q = \begin{cases} 0 & P \leq 0.20 S \\ \frac{(P-0.20 S)^2}{P+0.80 S} & P > 0.20 S \end{cases} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

con	Q	deflusso in mm
	P	precipitazione in mm
	S	volume immagazzinabile nel terreno in mm
	CN	numero di curva caratteristico del terreno considerato.

In letteratura sono disponibili numerose indicazioni per la scelta del valore di CN proprio di ciascuna area. Il parametro va scelto tenendo conto delle caratteristiche pedologiche del terreno, che il Soil Conservation Service classifica in quattro categorie da A a D con permeabilità decrescente, dell'uso del suolo e della condizione di umidità iniziale del bacino, prodotta da ulteriori apporti meteorici nei cinque giorni precedenti l'evento.

Il parametro CN fornisce una indicazione della quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno, la quale stabilisce in base alle ipotesi assunte dal modello SCS descritto, la relazione tra afflussi e deflussi in un bacino idrografico. Tale parametro contiene le informazioni relative alla capacità di infiltrazione del terreno, secondo quattro classi di permeabilità, le informazioni relative allo stato di imbibizione del terreno (classi AMC) e le informazioni relative alla copertura di suolo.

Secondo lo schema descritto i suoli sono divisi in tre classi, per quanto riguarda l'insieme delle condizioni d'uso del suolo (tipologia di destinazione d'uso, trattamento della superficie e condizioni di drenaggio) ed in base a quattro gruppi per quanto riguarda la capacità di infiltrazione del terreno.

I suoli costituiti principalmente da sabbie e ghiaie di notevole spessore sono caratterizzati da drenaggio buono o alto e presentano un tasso di infiltrazione elevato anche in condizioni di notevole imbibizione (classe A, suoli a basso potenziale di scorrimento). La classe B di suoli è caratterizzata da una tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con un drenaggio da moderatamente buono a buono ed un tasso di infiltrazione moderato in condizioni di imbibizione elevata. I terreni poco permeabili rientrano nelle classi C e D. I terreni di classe C sono costituiti da suoli con tessitura da moderatamente fine a fine e presentano un basso tasso di infiltrazione; i terreni di classe D caratterizzati da tasso di infiltrazione molto basso, comprendono principalmente suoli argillosi ad alto potenziale di rigonfiamento o terreni caratterizzati da piccoli spessori giacenti su materiale pressoché impermeabile.

I valori del parametro CN si riferiscono a tre diverse condizioni di umidità del terreno definite condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Condition, AMC) l'evento di pioggia. La categoria AMC-I caratterizza i suoli sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o una coltivazione soddisfacente e che abbiano perciò un potenziale di scorrimento superficiale minimo; la categoria AMC-II rappresenta la condizione media di umidità del terreno e a tale situazione si fa riferimento per l'attribuzione dei valori di CN. Infine la categoria AMC-III contempla la condizione in cui i terreni siano praticamente saturati dalle precedenti piogge e in tale situazione il potenziale

di scorrimento superficiale risulta massimo. Una volta assegnati, sulla base di valori di letteratura, i CN della categoria AMC-II, è possibile determinare i valori di CN riferibili alle rimanenti due categorie attraverso alcune relazioni analitiche.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza; il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno standard del 5 %, che non possono essere attribuite ai territori di bonifica i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.0 - 0.1 % (Figura 23).

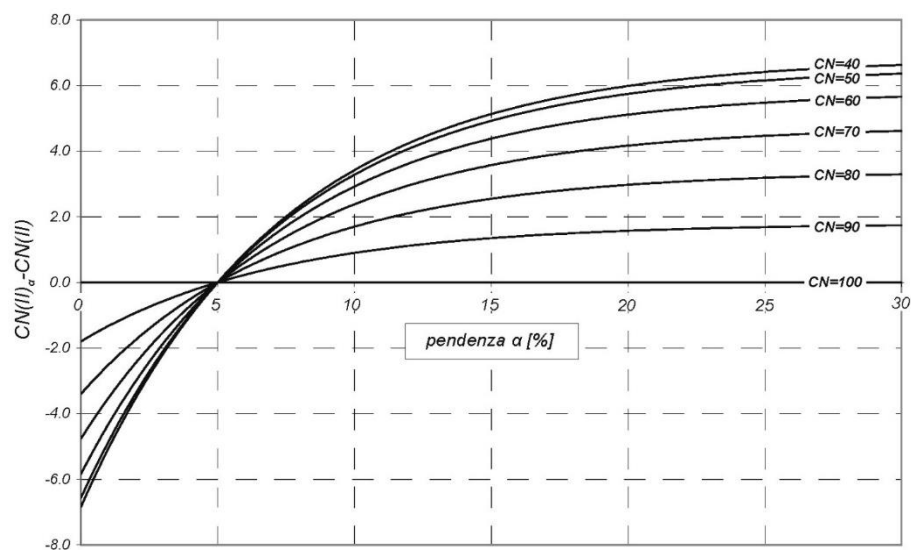


Figura 23. Correzione del CN in funzione della pendenza.

3.1.4.2 Trasformazione afflussi deflussi con il modello di Clark

La trasformazione degli afflussi netti di precipitazione in apporti al reticolo principale dei bacini idrografici analizzati è stata realizzata mediante l'applicazione del modello di Clark.

Si tratta di un modello concettuale, lineare e invariante che valuta un idrogramma unitario prodotto dalla combinazione in serie di un singolo invaso lineare con la cosiddetta curva di concentrazione normalizzata del bacino. Ad ogni punto compreso nel bacino è possibile associare un tempo presunto di corrivazione, cioè il tempo necessario perché l'apporto di pioggia raggiunga la sezione di chiusura del bacino: quando si riporti per ciascun tempo t_c la porzione di bacino che ha tempo di corrivazione compreso nell'intervallo infinitesimo $[t_c - dt, t_c + dt]$ si ottiene una curva che sottende un'area unitaria detta appunto curva di concentrazione normalizzata. Tale curva è una mappa della distribuzione geografica e idrografica del bacino: per molti bacini compatti ha forma pressoché standard e si differenzia solo per il tempo di corrivazione t_{corr} :

$$\frac{A_{t_c}}{A_{tot}} = \begin{cases} \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_{corr}} \right)^{1.5} & t < \frac{t_{corr}}{2} \\ 1 - \sqrt{2} \left(1 - \frac{t}{t_{corr}} \right)^{1.5} & t \geq \frac{t_{corr}}{2} \end{cases}$$

Con tale curva standard, i parametri del modello di Clark sono due: il parametro k del bacino lineare e il tempo di corrivazione del bacino. Il significato fisico dei parametri consente solo in parte una loro stima: se pure il tempo di corrivazione può essere valutato con formule empiriche, il parametro k risulta di più difficile valutazione. In letteratura si può trovare ad esempio l'espressione $k = ct_{corr}$ (Russel, Kenning, Sumcell, 1979) dove c è un parametro di calibrazione che, in funzione dell'uso del suolo, può assumere valori che vanno da 1,1-2,1 per i centri abitati, a 8-12 per aree a forestazione densa.

3.1.4.3 Parametri morfometrici e idrologici stimati per ciascun sottobacino

Gli ietogrammi efficaci, che indicano l'altezza di pioggia che contribuisce effettivamente alla generazione della portata di piena, sono calcolati nel modello secondo il metodo SCS-CN descritto in precedenza, sulla base dei valori di CN medi per sottobacino.

Per determinare i valori di CN, operativamente sono state definite unità cartografiche attraverso l'intersezione dei tematismi della Carta dei suoli del Veneto in scala 1:50'000, che riporta per ciascun tipo di suolo la classe di permeabilità secondo la classificazione SCS dei suoli (gruppi A, B, C, D), e dell'uso del suolo, ottenuta unendo la cartografia dell'uso del suolo della Regione Veneto con la cartografia di dettaglio del sedime aeroportuale.

Ciascuna unità cartografica risulta pertanto definita in base al gruppo SCS (Figura 24) e alla classe d'uso (Figura 25).

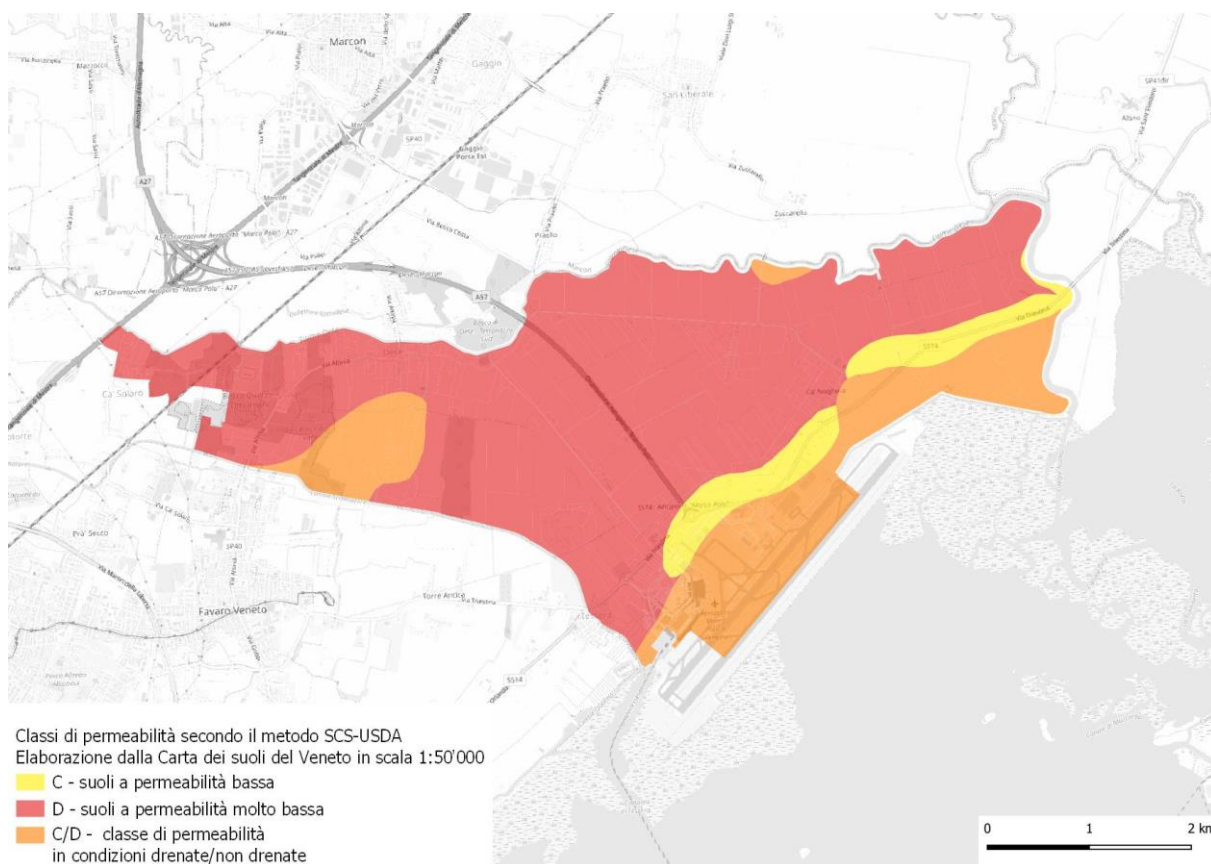


Figura 24. Elaborazione delle classi di permeabilità secondo il metodo SCS-USDA.

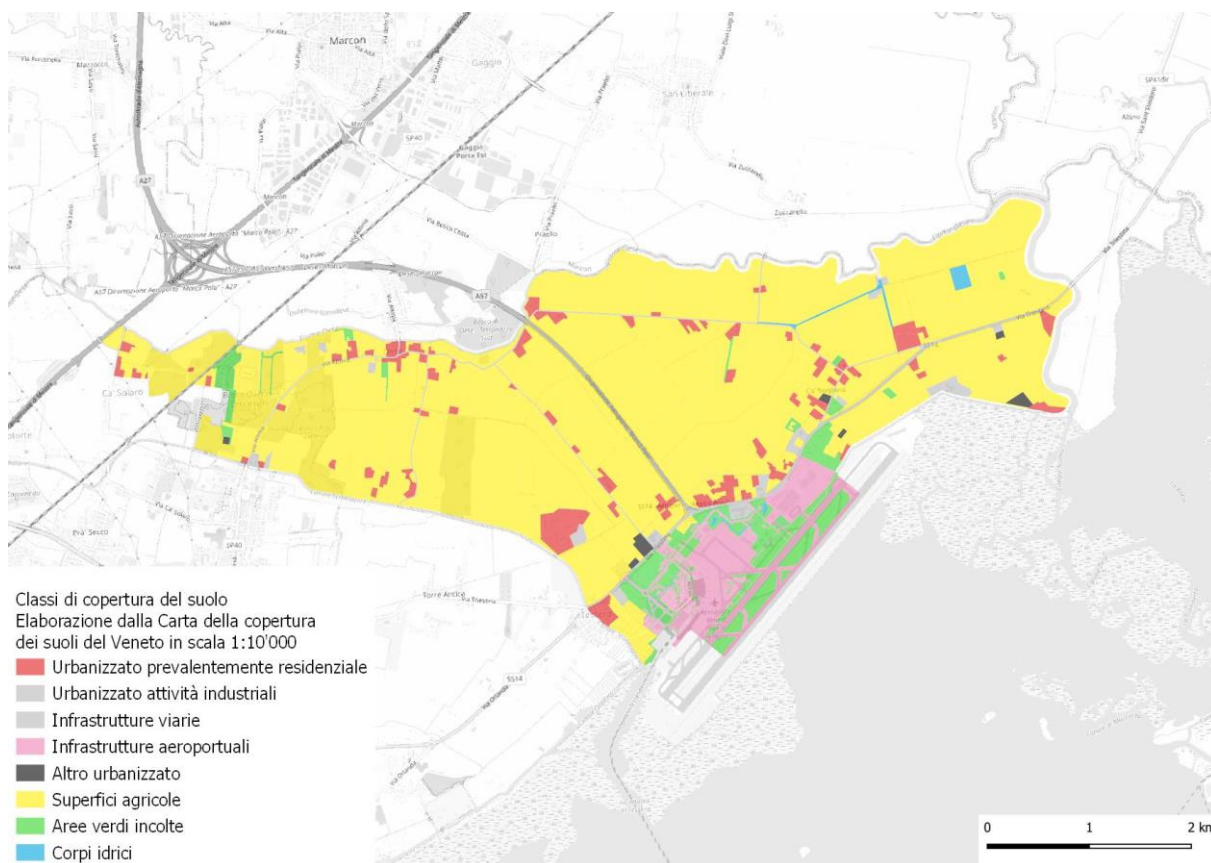


Figura 25. Elaborazione delle classi di copertura del suolo nella configurazione dello scenario 1 pre-interventi.

A partire dalla classe di permeabilità attribuita, a ciascuna unità elementare cartografica è stato quindi associato, in funzione della destinazione d'uso del suolo, un valore di CN relativo alla categoria AMC II.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza. Il valore di CN in condizioni medie di saturazione del terreno è stato quindi corretto sulla base delle considerazioni esposte sopra (Figura 26).

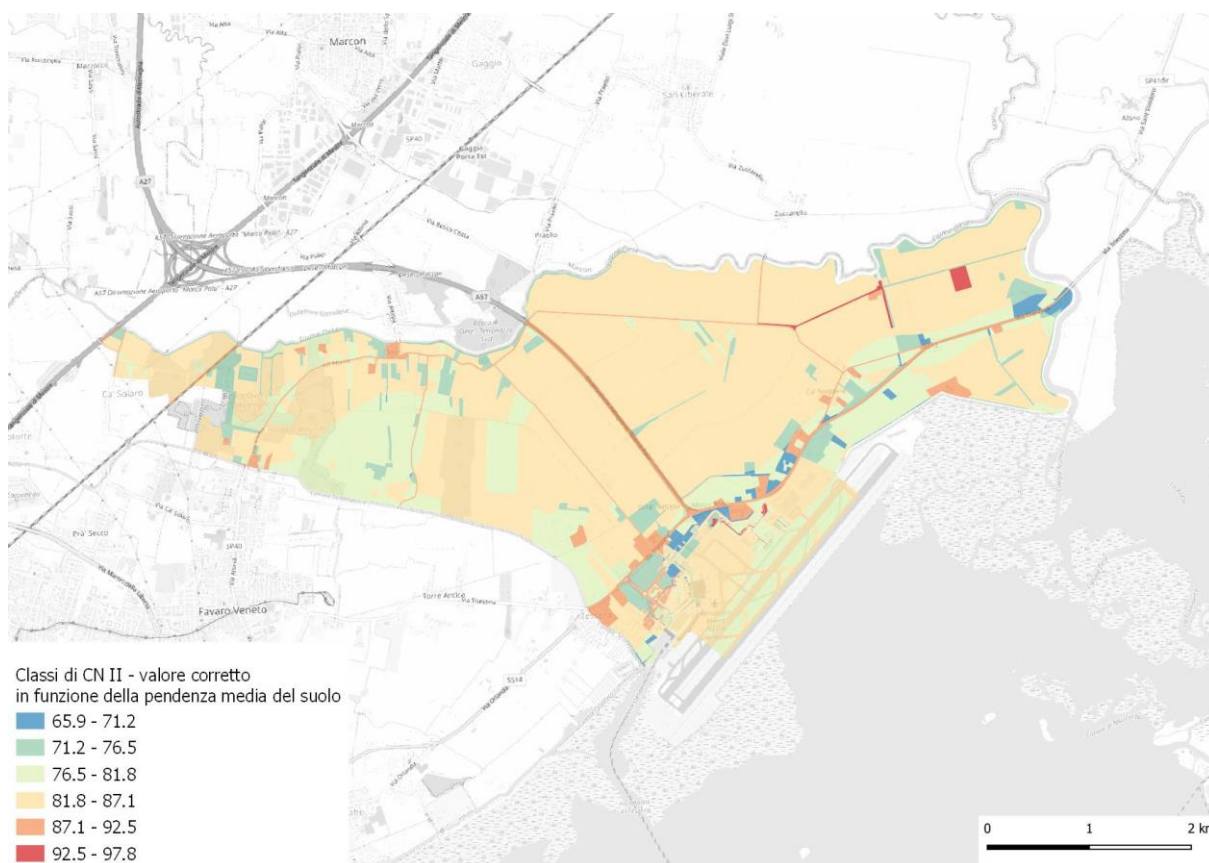


Figura 26. Elaborazione delle classi di CNII corretto in funzione della pendenza media del suolo (scenario 1 pre-interventi).

Il valore di CNII per ciascun sottobacino viene quindi calcolato come media pesata sull'area, ottenendo una preliminare stima del CN da utilizzare nel modello idrologico al fine di procedere con la calibrazione dei parametri idrologici e idraulici del modello.

A partire dal valore del CN-AMC II, viene calcolato mediante la nota formula di letteratura, il valore CN-AMC III.

$$CN (III) = \frac{CN (II)}{0,43 + 0,0057 CN (II)}$$

Per la stima dei parametri *time of concentration* e *storage coefficient* del modello di Clark sono stati valutati i tempi di afflusso e percorrenza in rete fino alla sezione di chiusura mediante uno schema di calcolo

semplificato che considera velocità via via crescente in funzione dell'importanza del collettore. Per ottenere quindi il parametro k il T_c è stato moltiplicato per 3 e per 5 rispettivamente nei sottobacini con superfici urbanizzate e in quelli agricoli.

Sfruttando la procedura qualitativa indicata, sono stati stimati i parametri del modello idrologico implementato in HEC-HMS al fine di procedere con la calibrazione dei parametri idrologici e idraulici del modello.

A seguito della procedura di calibrazione, i cui risultati sono descritti al par. 3.3, sono stati determinati i parametri idrologici e idraulici da utilizzare nelle simulazioni dello studio riportati in Tabella 6.

Tabella 6. Sottobacini rappresentati nel modello HEC-HMS nella configurazione 2014.
Parametri del modello idrologico ottenuti con la procedura di calibrazione.

SOTTOBACINO	SUPERFICIE AFFERENTE [km ²]	CLARK TRANSFORM		CURVE NUMBER LOSS	
		TIME OF CONCENTRATION [hr]	STORAGE COEFFICIENT [hr]	CNII	CNIII
01-Pagliaga	1.335	2.111	10.556	76.4	88.2
02-Altinate	1.247	2.379	11.897	75.1	87.4
03-Ca' Solaro	0.586	1.833	9.167	75.6	87.7
04-Acque Alte Cattal	2.478	2.500	12.500	76.7	88.3
05-Acque Medie Cattal	2.519	3.131	15.653	77.1	88.6
06-Acque Medie Cattal	0.600	1.522	7.611	77.2	88.6
07-Acque Medie Cattal	0.166	0.789	3.944	78.8	89.5
08-Acque Medie Cattal	0.219	0.900	4.500	74.6	87.1
09-Acque Medie Cattal	0.551	1.186	5.928	75.0	87.3
10-Acque Medie Cattal	0.591	1.467	7.333	75.4	87.6
11-Canaletta Irrigua	1.209	2.223	11.117	77.6	88.9
12-Fornasotti	1.107	1.204	6.022	77.5	88.8
13-Collettore Cattal	2.272	2.571	12.856	77.3	88.7
14-Acque Basse Cattal	0.751	2.079	10.394	77.9	89.0
15-Acque Basse Cattal	0.987	1.771	8.853	77.9	89.0
16-Collettore Pagliaghetta	0.331	1.541	7.703	77.5	88.8
17-Collettore Pagliaghetta	0.176	1.467	7.333	75.8	87.8
18-Collettore Pagliaghetta	0.358	0.917	2.750	82.0	91.3
19-Collettore Pagliaghetta	0.331	0.861	2.583	81.6	91.1
20-Collettore Pagliaghetta	0.202	0.894	3.041	76.8	88.4
21-Collettore Pagliaghetta	0.766	1.500	4.500	78.8	89.5
22-Collettore Pagliaghetta	0.140	0.900	3.060	82.4	91.5
23-Collettore Pagliaghetta	0.020	0.700	2.380	68.5	83.3

Per definire l'idrologia al 2037 si è applicato lo stesso criterio utilizzato per la definizione dei parametri di calibrazione, seguendo i passaggi elencati di seguito:

- costruzione della mappa di uso del suolo al 2037;
- pre-attribuzione dei CN come nello scenario 2014;
- correzione dei CN ottenuti come da procedura di calibrazione.

Con riferimento alla costruzione della mappa di uso del suolo al 2037, di seguito si riporta un confronto tra le mappe di uso del suolo al 2037 e al 2014.

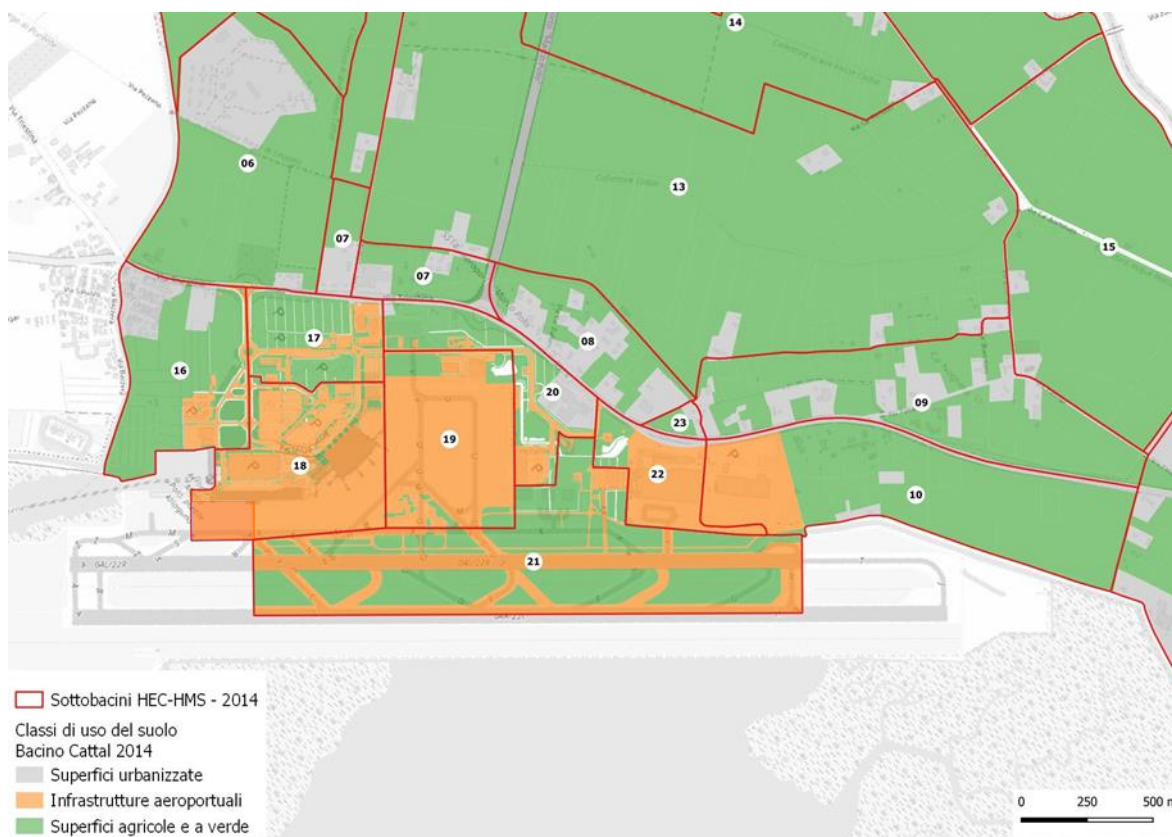


Figura 27. Classi di uso del suolo definite nello scenario 1 pre-interventi.

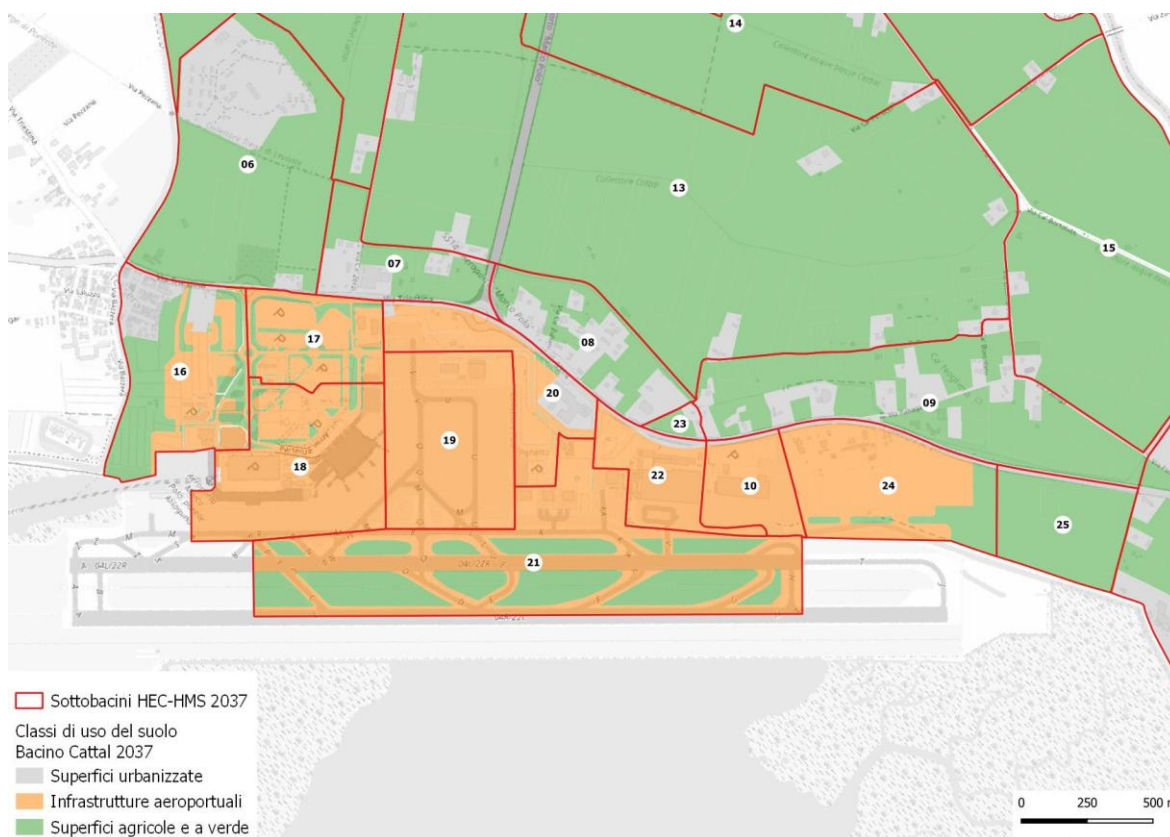


Figura 28. Classi di uso del suolo definite per il 2037.

La superficie totale urbanizzata all'interno del bacino Pagliaghetta al 2014 è pari a 131 ettari. Nel 2037, a fronte anche di una estensione del bacino, la superficie totale urbanizzata è pari a 205 ettari. Per la definizione dei parametri idrologici nel 2037 si assume come ipotesi l'assenza di opere di invarianza locali. Nel modello si trascurano pertanto a favore di sicurezza quelle eventualmente già presenti e che si prevede rimangano al 2037, come ad esempio quelle dello Speedy Park o del P6. Al contrario nel definire i parametri idrologici per il 2014 si è tenuto conto delle superfici dotate di opere di invarianza, come ad esempio l'area del P5, che è stata considerata ai fini idrologici come una superficie non trasformata.

In definitiva, attraverso la procedura descritta si sono ottenuti per il 2037 i parametri idrologici riportati nella seguente Tabella 7.

Tabella 7. Sottobacini rappresentati nel modello HEC-HMS nella configurazione 2037.
Parametri utilizzati nel modello idrologico.

SOTTOBACINO	SUPERFICIE AFFERENTE [km ²]	CLARK TRANSFORM		CURVE NUMBER LOSS
		TIME OF CONCENTRATION [hr]	STORAGE COEFFICIENT [hr]	CNII
01-Pagliaga	1.335	2.111	10.556	76.4
02-Altinate	1.247	2.379	11.897	75.1
03-Ca' Solaro	0.586	1.833	9.167	75.6
04-Acque Alte Cattal	2.478	2.500	12.500	76.7

SOTTOBACINO	SUPERFICIE AFFERENTE [km ²]	CLARK TRANSFORM		CURVE NUMBER LOSS
		TIME OF CONCENTRATION [hr]	STORAGE COEFFICIENT [hr]	CNII
05-Acque Medie Cattal	2.519	3.131	15.653	77.1
06-Acque Medie Cattal	0.600	1.522	7.611	77.2
07-Acque Medie Cattal	0.166	0.789	3.944	78.8
08-Acque Medie Cattal	0.219	0.900	4.500	74.6
09-Acque Medie Cattal	0.551	1.186	5.928	75.0
10-Acque Medie Cattal	0.121	0.767	2.300	82.5
11-Canaletta Irrigua	1.209	2.223	11.117	77.6
12-Fornasotti	1.107	1.204	6.022	77.5
13-Collettore Cattal	2.272	2.571	12.856	77.3
14-Acque Basse Cattal	0.751	2.079	10.394	77.9
15-Acque Basse Cattal	0.987	1.771	8.853	77.9
16-Collettore Pagliaghetta	0.331	1.291	5.162	80.9
17-Collettore Pagliaghetta	0.176	0.967	2.900	82.2
18-Collettore Pagliaghetta	0.358	0.864	2.591	82.6
19-Collettore Pagliaghetta	0.331	0.624	1.872	82.4
20-Collettore Pagliaghetta	0.202	0.510	1.529	82.9
21-Collettore Pagliaghetta	0.766	2.154	6.461	80.2
22-Collettore Pagliaghetta	0.140	0.627	2.195	83.2
23-Collettore Pagliaghetta	0.020	0.700	2.380	68.5
24-Collettore Pagliaghetta	0.313	1.078	3.233	81.8
25- Acque Medie Cattal	0.186	1.133	5.667	76.1

3.1.5 Idrogrammi per sottobacino

Si riportano di seguito i risultati del modello idrologico implementato con il software HEC HMS nelle configurazioni 2014 e 2037.

In Tabella 8 si riportano per ciascun sottobacino il valore di picco della portata e il volume defluito, per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni e per le configurazioni 2014 e 2037.

Tabella 8. Sottobacini rappresentati nel modello HEC-HMS nelle configurazioni 2014 e 2037.
Valori calcolati della portata di picco, espressa in m³/s, e volume di deflusso, espresso in mm.

SOTTOBACINO	2014				2037			
	TR 50 anni		TR 100 anni		TR 50 anni		TR 100 anni	
	Q _{max} [m ³ /s]	V _{deflusso} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	V _{deflusso} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	V _{deflusso} [mm]	Q _{max} [m ³ /s]	V _{deflusso} [mm]
01-Pagliaga	2.08	88.71	2.51	107.67	2.08	88.71	2.51	107.67
02-Altinate	1.53	81.95	1.86	99.90	1.53	81.95	1.86	99.90
03-Ca' Solaro	0.52	72.97	0.63	88.88	0.52	72.98	0.63	88.88
04-Acque Alte Cattal	3.23	86.04	3.91	104.37	3.23	86.05	3.91	104.38
05-Acque Medie Cattal	3.35	87.15	4.04	105.58	3.34	87.15	4.04	105.58
06-Acque Medie Cattal	0.99	91.16	1.19	110.37	0.99	91.16	1.19	110.37
07-Acque Medie Cattal	0.37	97.52	0.44	117.47	0.37	97.52	0.44	117.47
08-Acque Medie Cattal	0.47	87.04	0.58	106.20	0.47	87.04	0.57	106.20
09-Acque Medie Cattal	1.11	87.84	1.35	107.05	1.11	87.85	1.35	107.05
10-Acque Medie Cattal	0.80	84.47	0.97	102.86	0.71	107.80	0.83	128.46
11-Canaletta Irrigua	1.92	91.49	2.32	110.64	1.92	91.49	2.32	110.64
12-Fornasotti	1.76	91.31	2.12	110.45	1.76	91.31	2.12	110.46
13-Collettore Cattal	4.04	92.26	4.86	111.66	4.04	92.26	4.86	111.65
14-Acque Basse Cattal	1.13	91.14	1.36	110.13	1.13	91.14	1.36	110.14
15-Acque Basse Cattal	1.70	93.23	2.04	112.64	1.70	93.24	2.05	112.64
16-Collettore Pagliagheta	0.64	93.51	0.77	113.09	1.00	103.50	1.18	123.90
17-Collettore Pagliagheta	0.33	89.36	0.40	108.63	0.86	107.00	1.00	127.61
18-Collettore Pagliagheta	1.90	106.46	2.21	127.04	1.93	108.07	2.25	128.75
19-Collettore Pagliagheta	2.21	105.39	2.56	125.90	2.26	107.53	2.61	128.18
20-Collettore Pagliagheta	1.11	92.78	1.32	112.41	1.60	108.88	1.85	129.60
21-Collettore Pagliagheta	1.81	97.77	2.16	117.76	1.89	101.45	2.24	121.70
22-Collettore Pagliagheta	0.85	107.53	0.99	128.18	0.87	109.69	1.01	130.46
23-Collettore Pagliagheta	0.05	72.11	0.06	89.82	0.05	72.11	0.06	89.82
24-Collettore Pagliagheta					1.40	105.92	1.64	126.47
25-Acque Medie Cattal					0.45	90.93	0.55	110.41

Nelle figure seguenti sono rappresentati, per ciascun sottobacino, gli ietogrammi di pioggia efficaci e gli idrogrammi calcolati per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, nella configurazione 2014 pre-interventi.

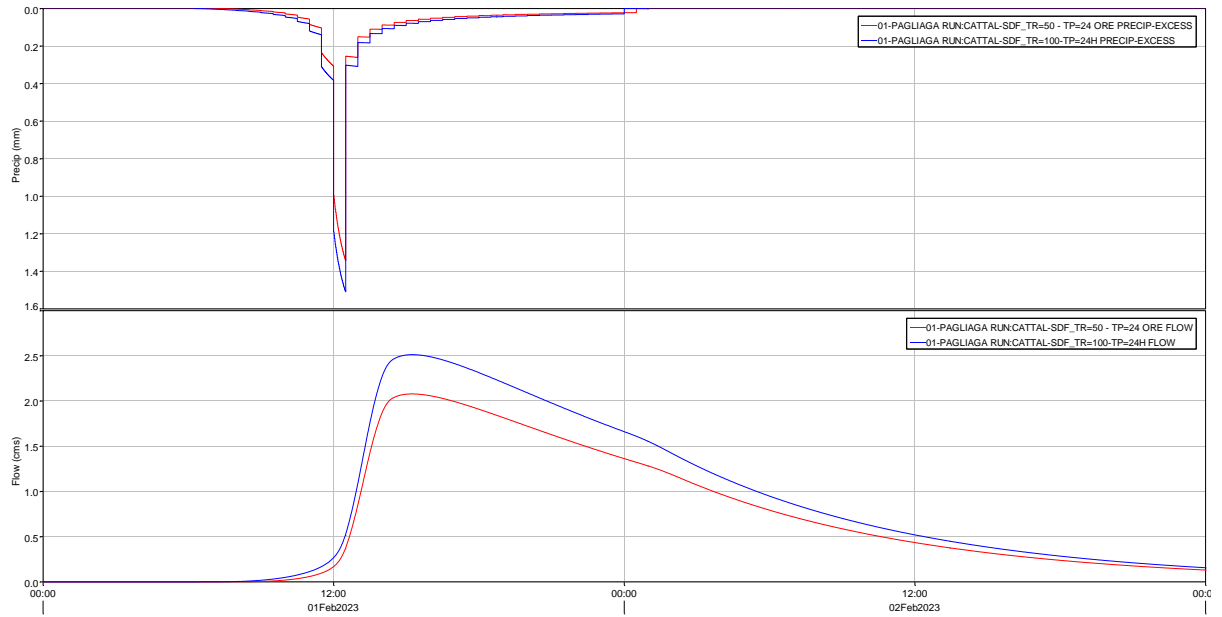


Figura 29. Sottobacino 01-Pagliaga: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

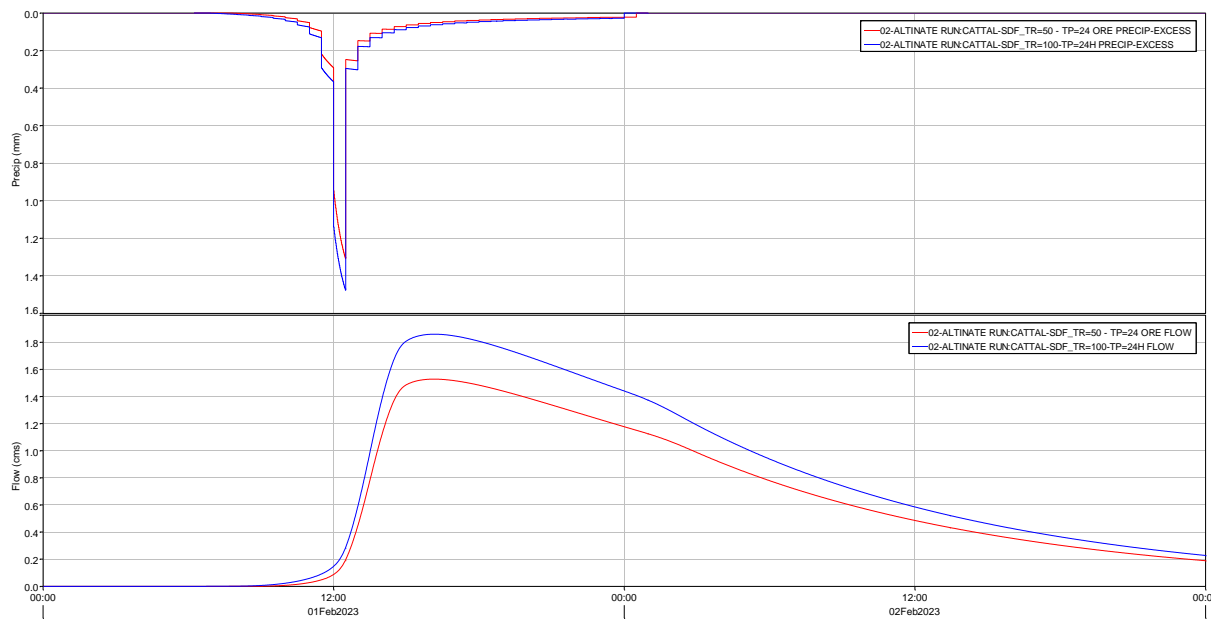


Figura 30. Sottobacino 02-Altinate: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

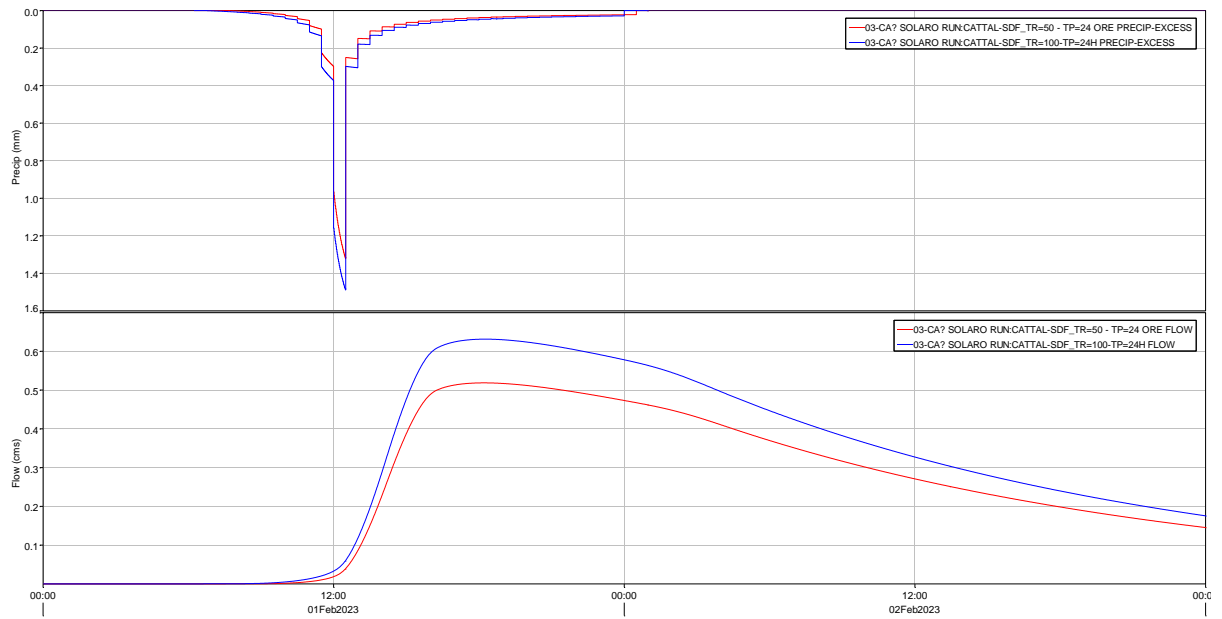


Figura 31. Sottobacino 03-Ca' Solaro: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

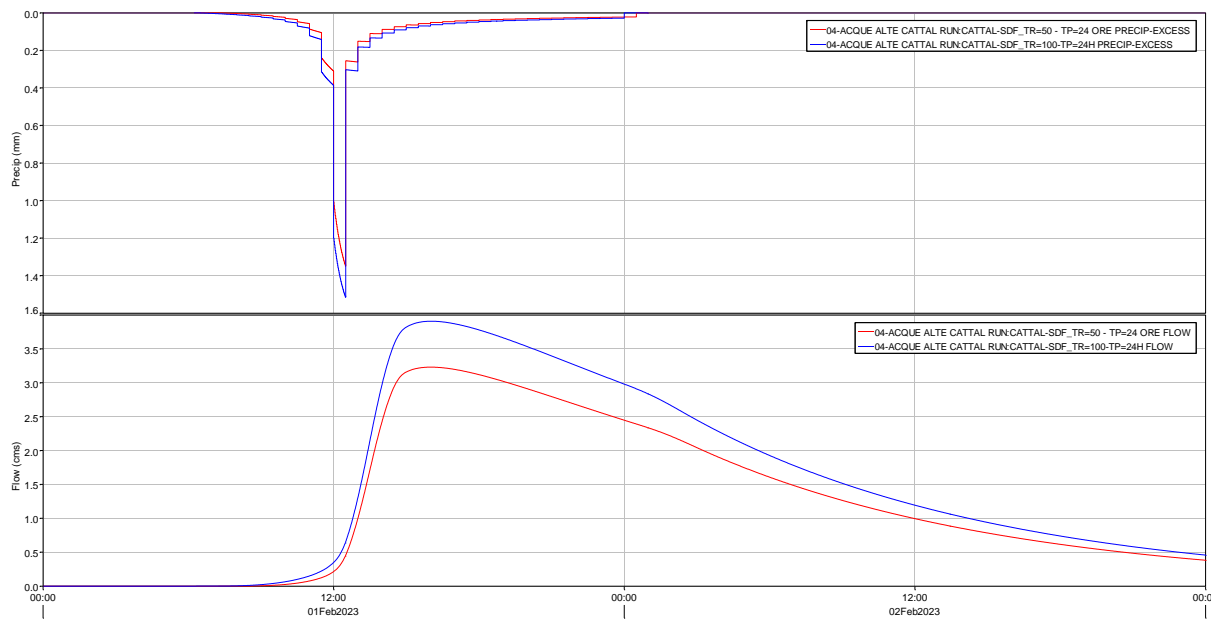


Figura 32. Sottobacino 04-Acque Alte Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

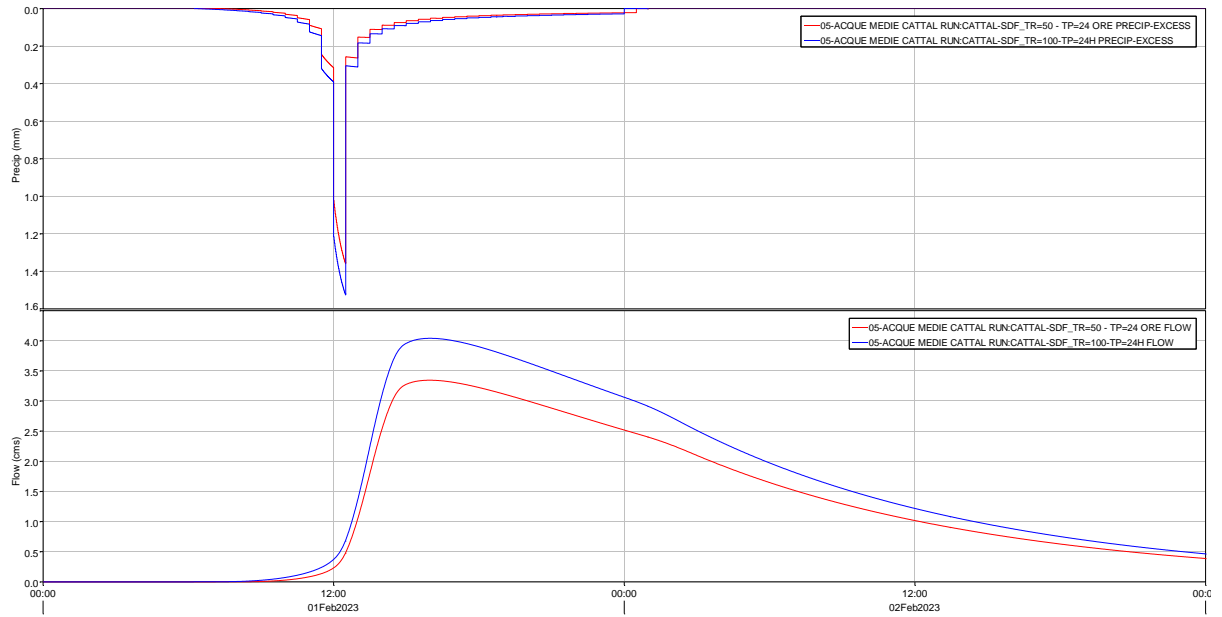


Figura 33. Sottobacino 05-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

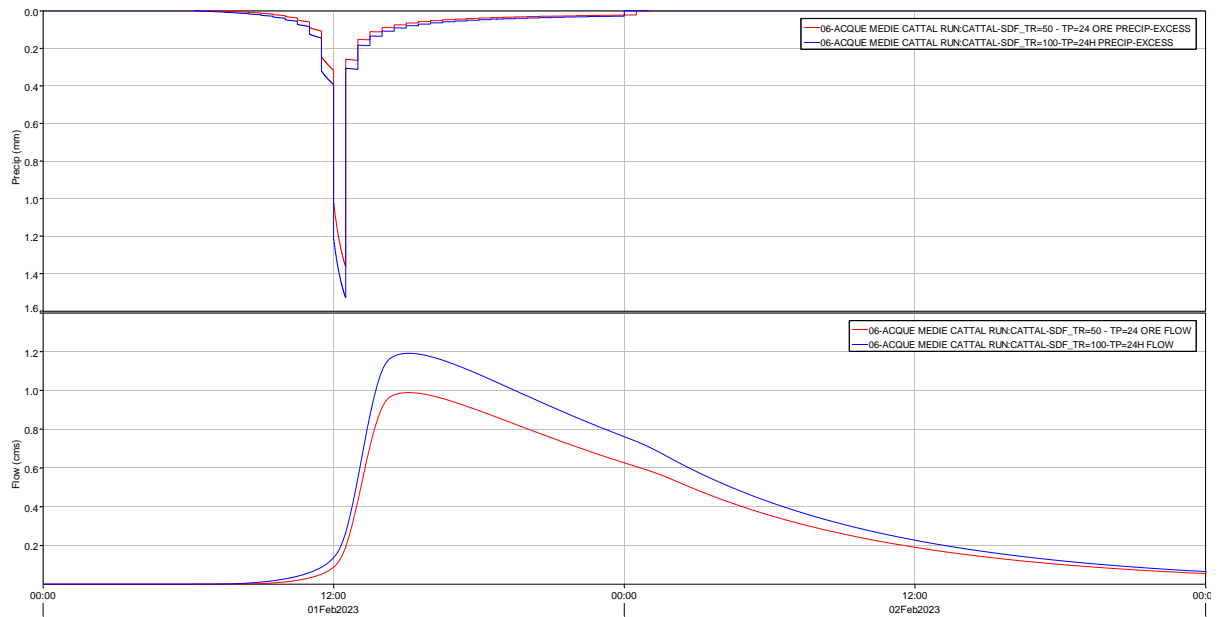


Figura 34. Sottobacino 06-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

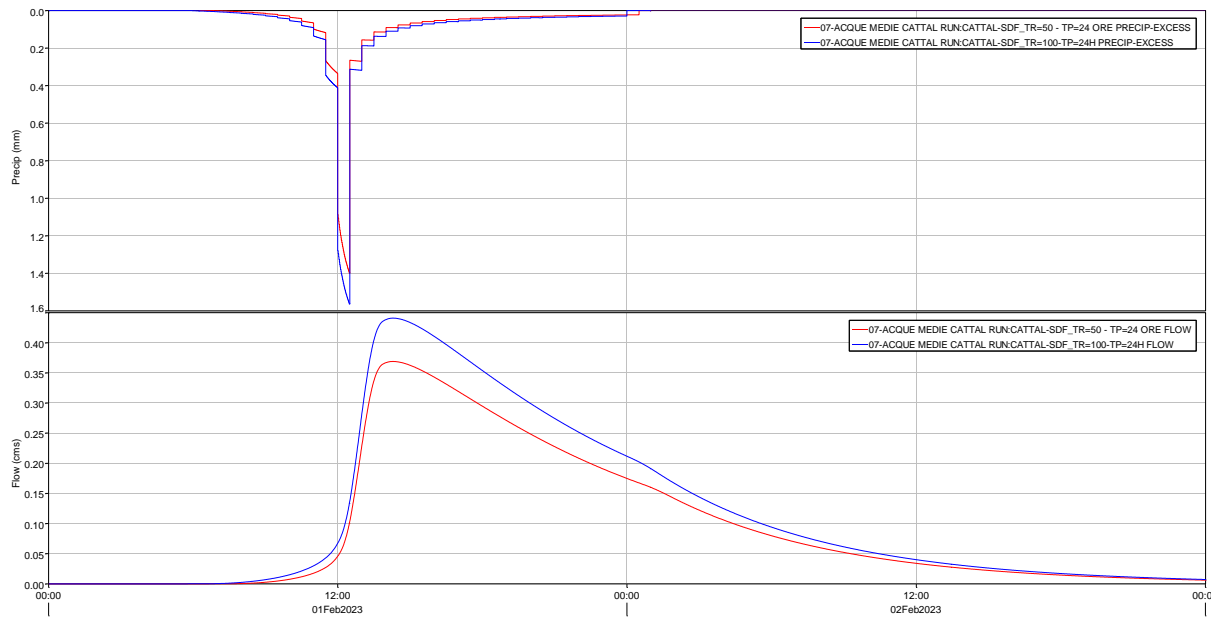


Figura 35. Sottobacino 07-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

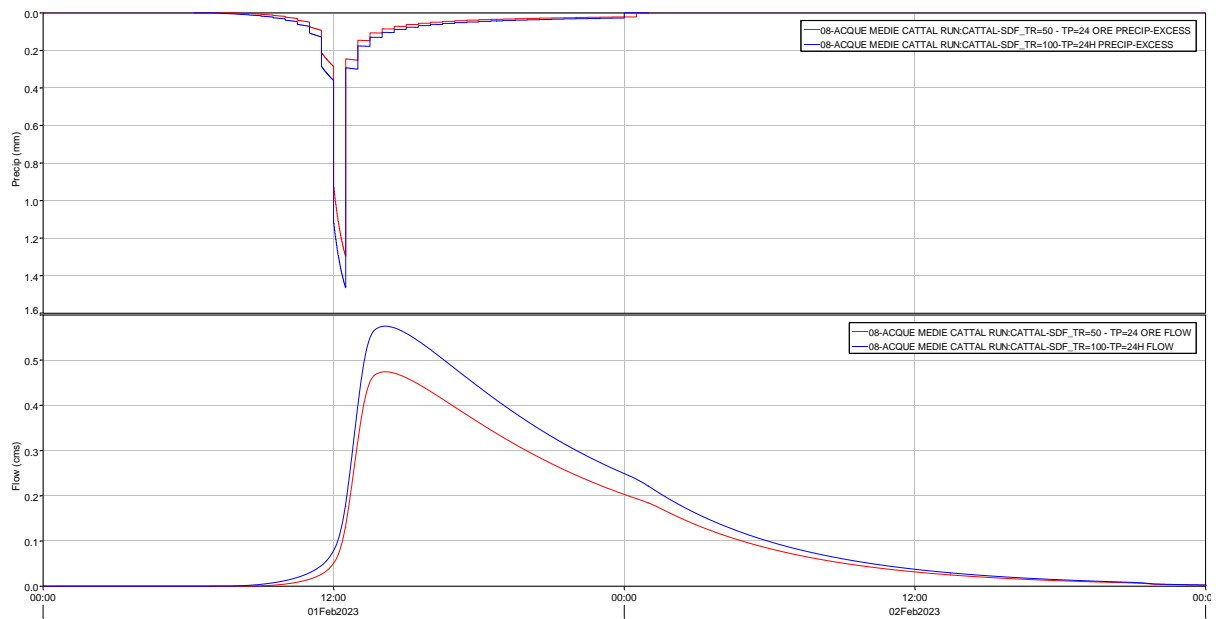


Figura 36. Sottobacino 08-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

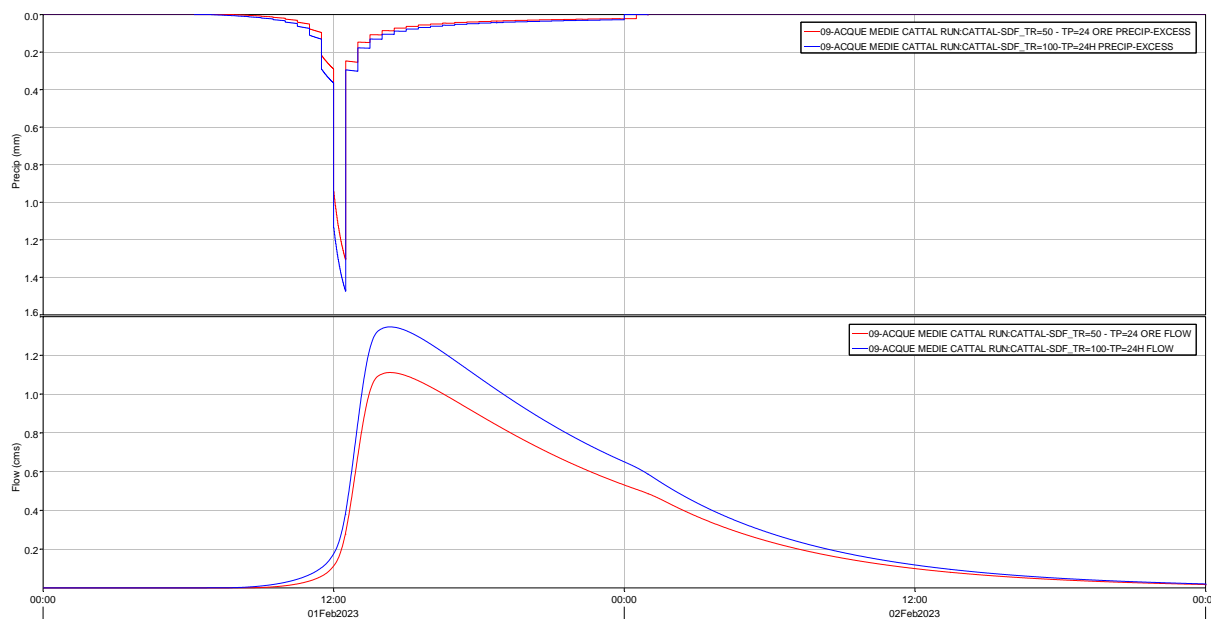


Figura 37. Sottobacino 09-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

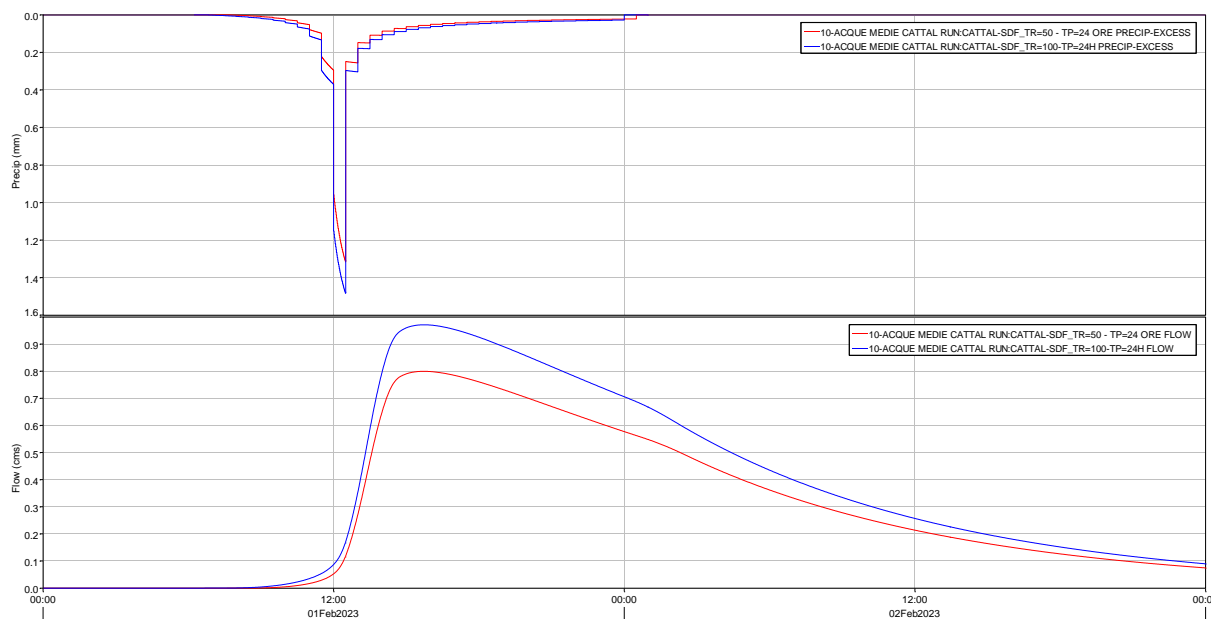


Figura 38. Sottobacino 10-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

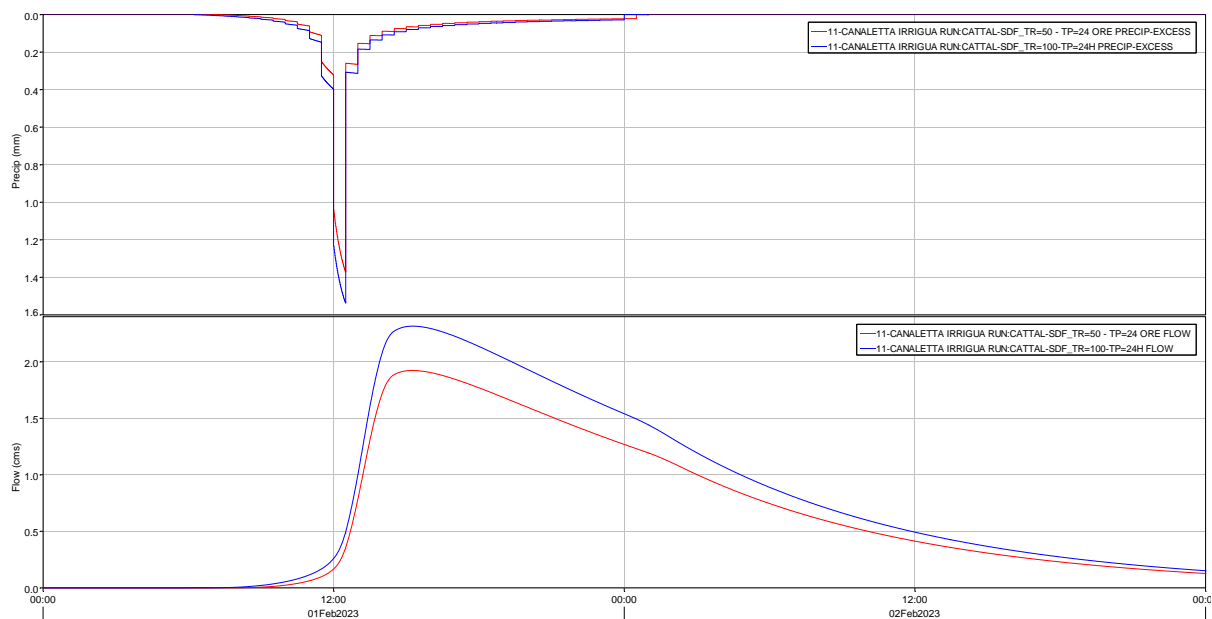


Figura 39. Sottobacino 11-Canaletta Irrigua: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

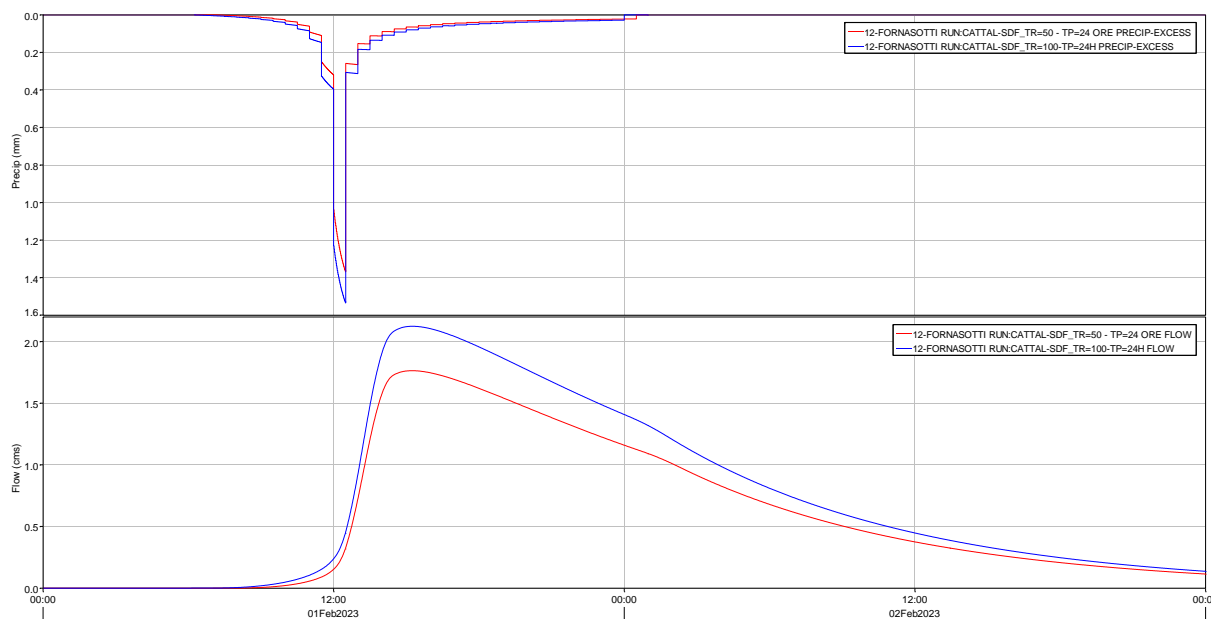


Figura 40. Sottobacino 12-Fornasotti: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

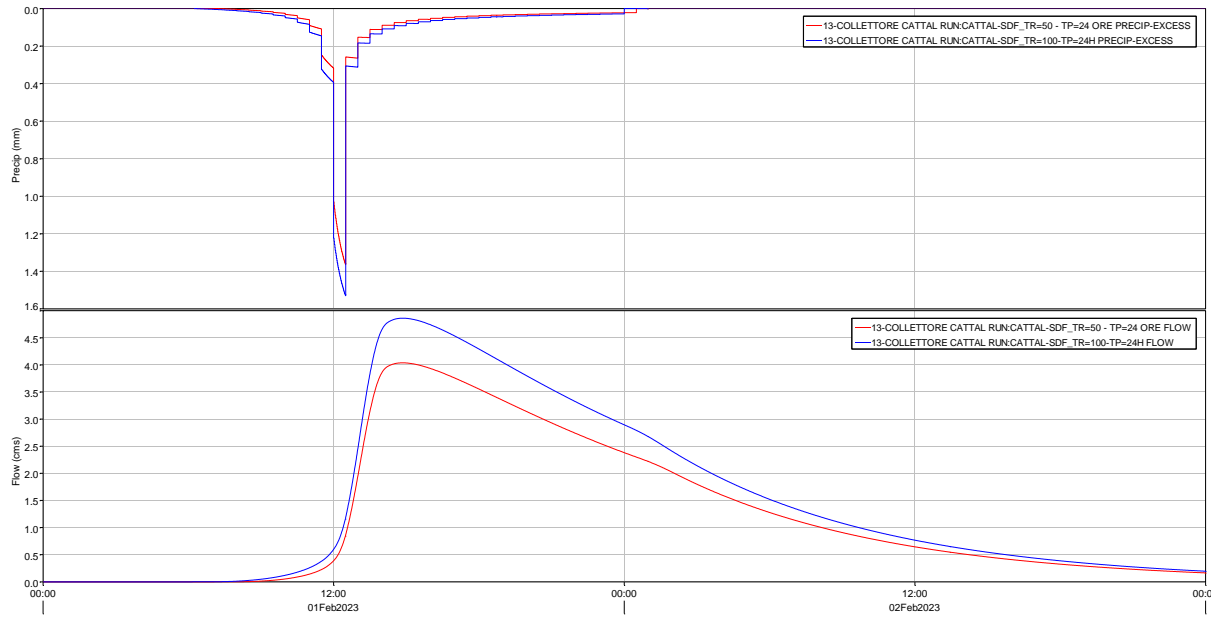


Figura 41. Sottobacino 13-Collettore Cattal: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

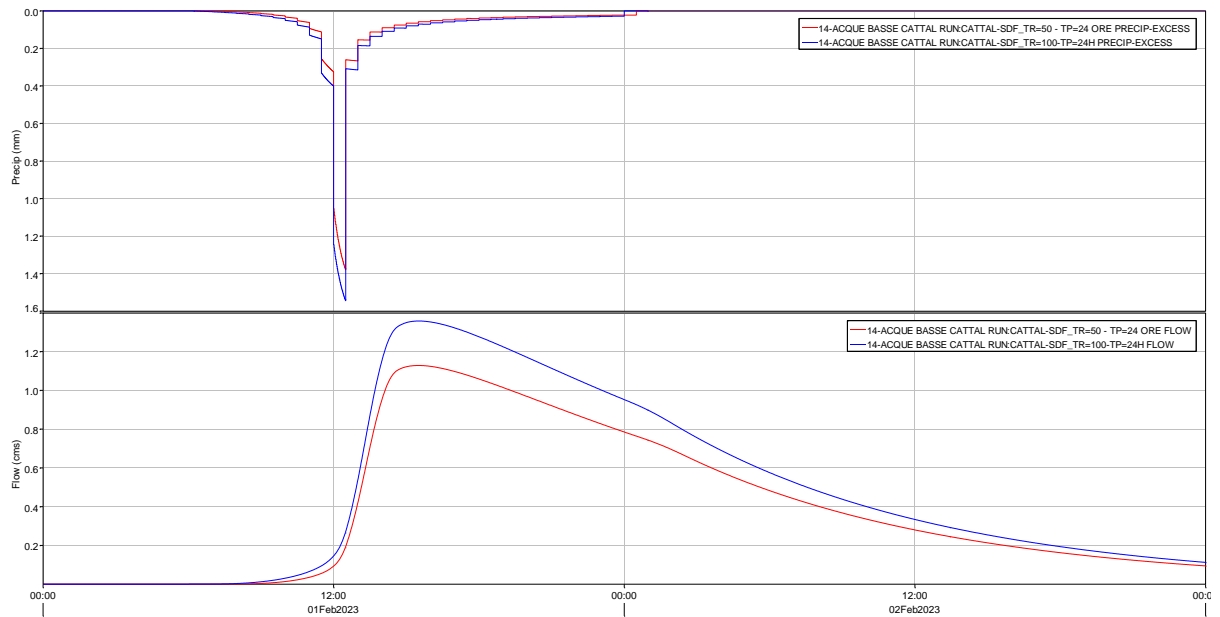


Figura 42. Sottobacino 14-Acque Basse Cattal: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

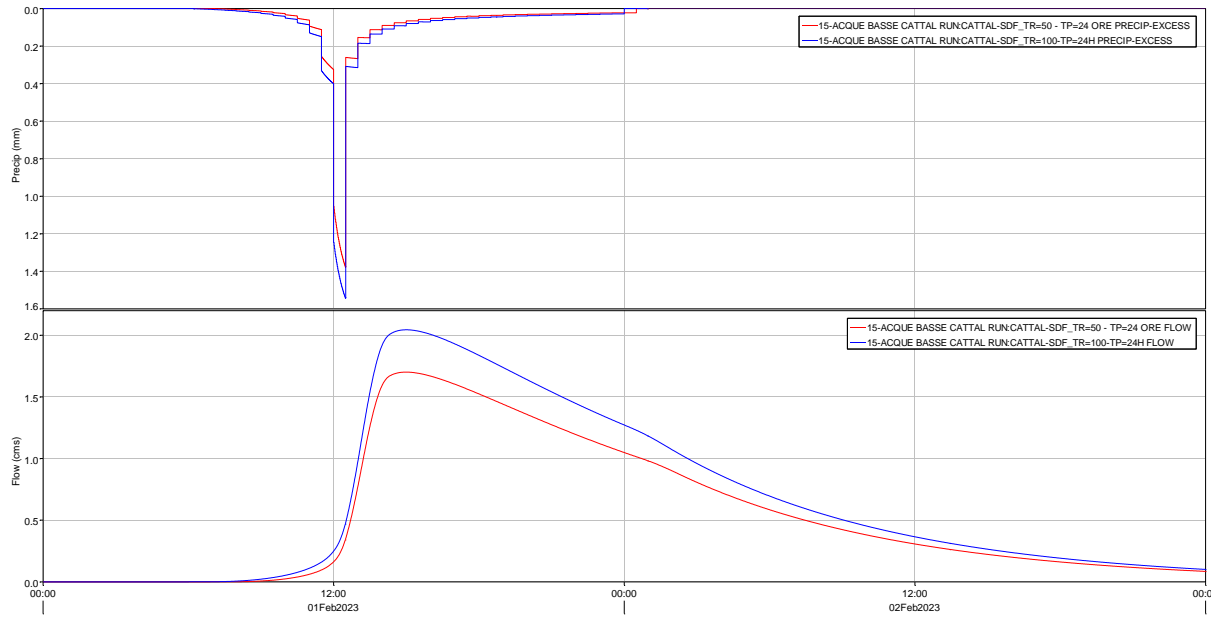


Figura 43. Sottobacino 15-Acque Basse Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

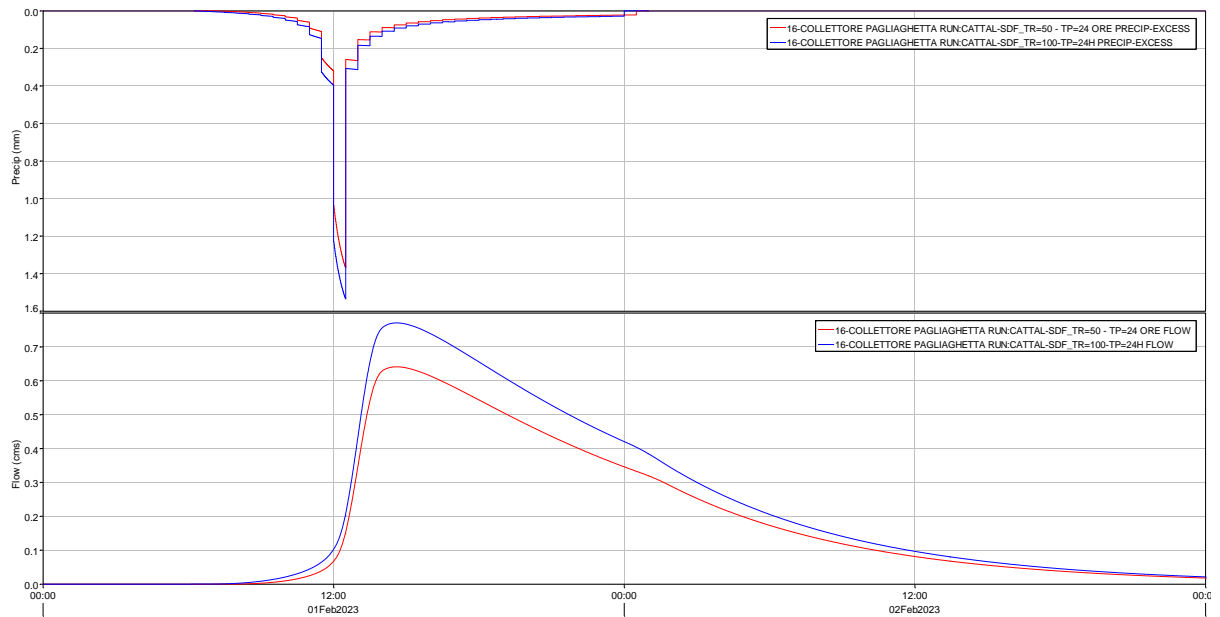


Figura 44. Sottobacino 16-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

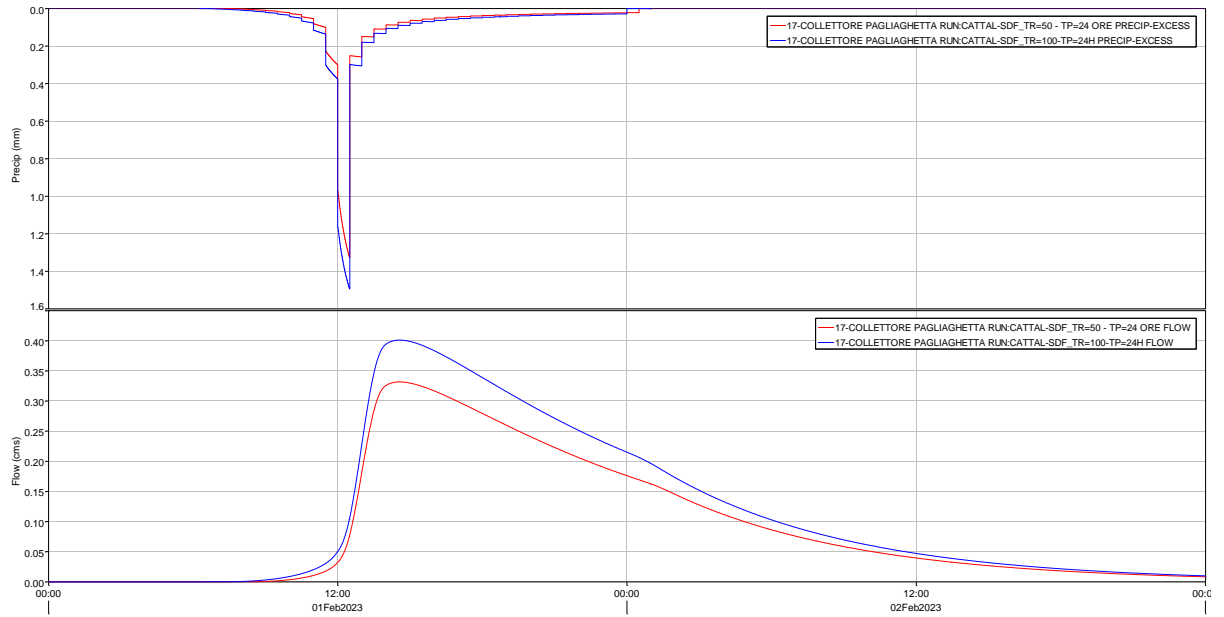


Figura 45. Sottobacino 17-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

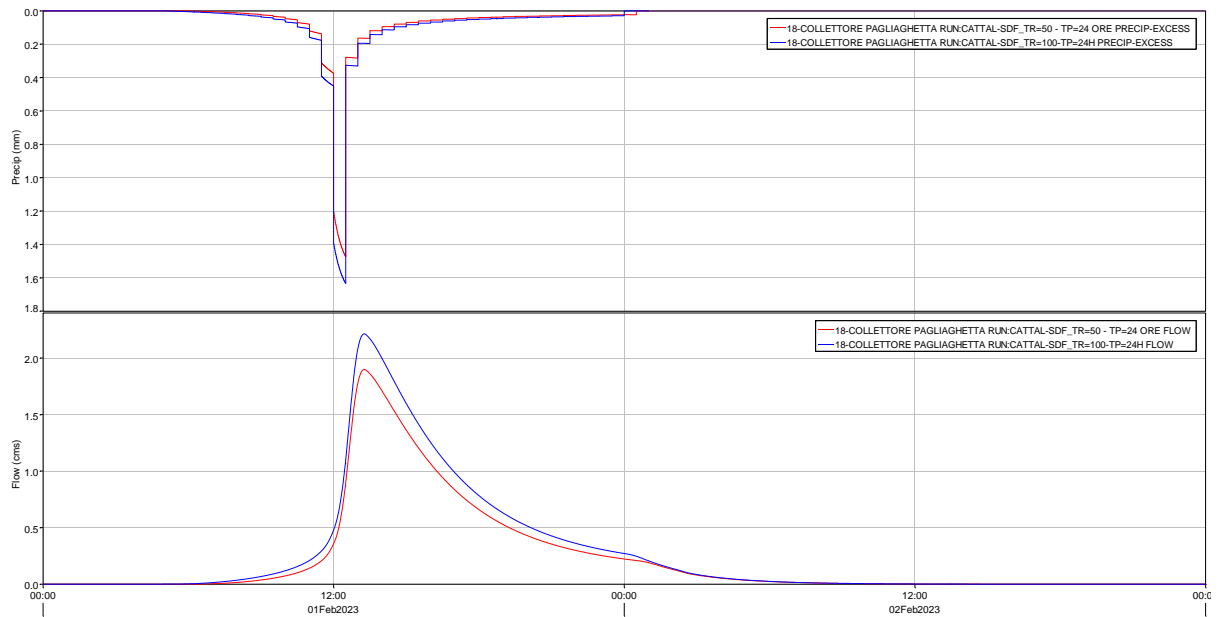


Figura 46. Sottobacino 18-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

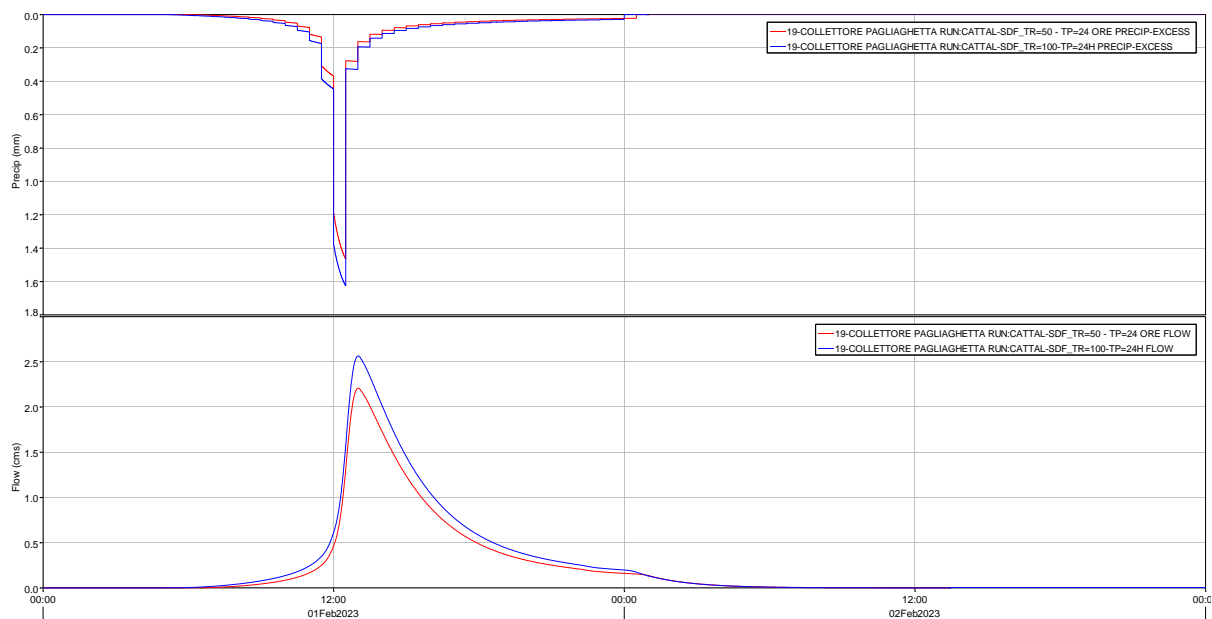


Figura 47. Sottobacino 19-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

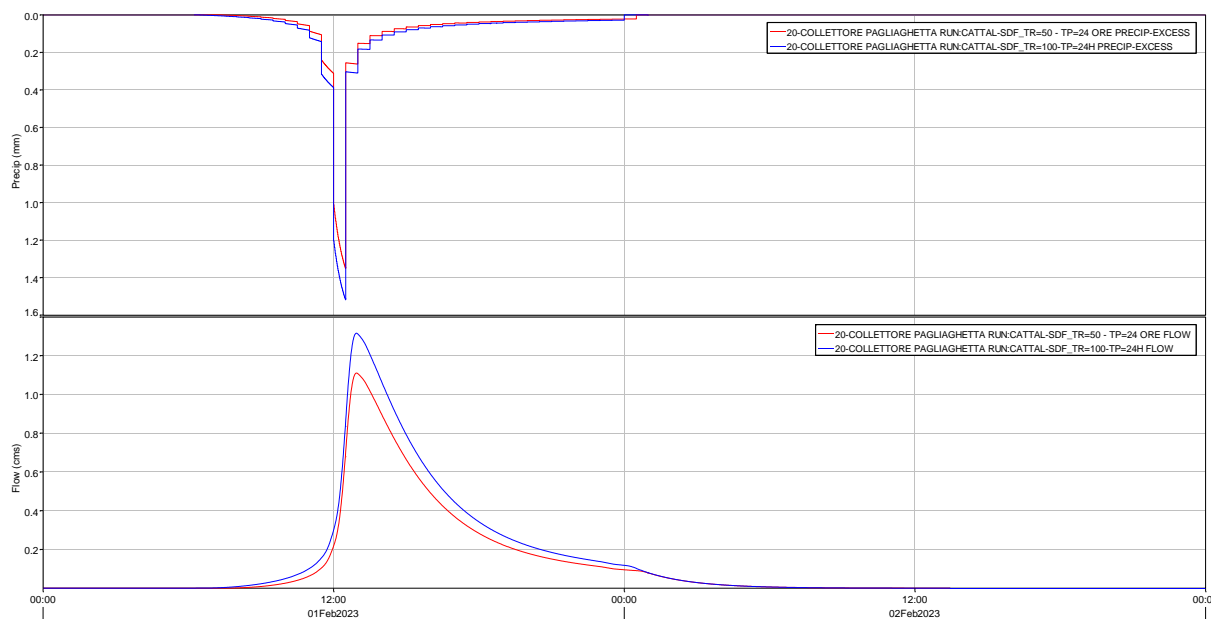


Figura 48. Sottobacino 20-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

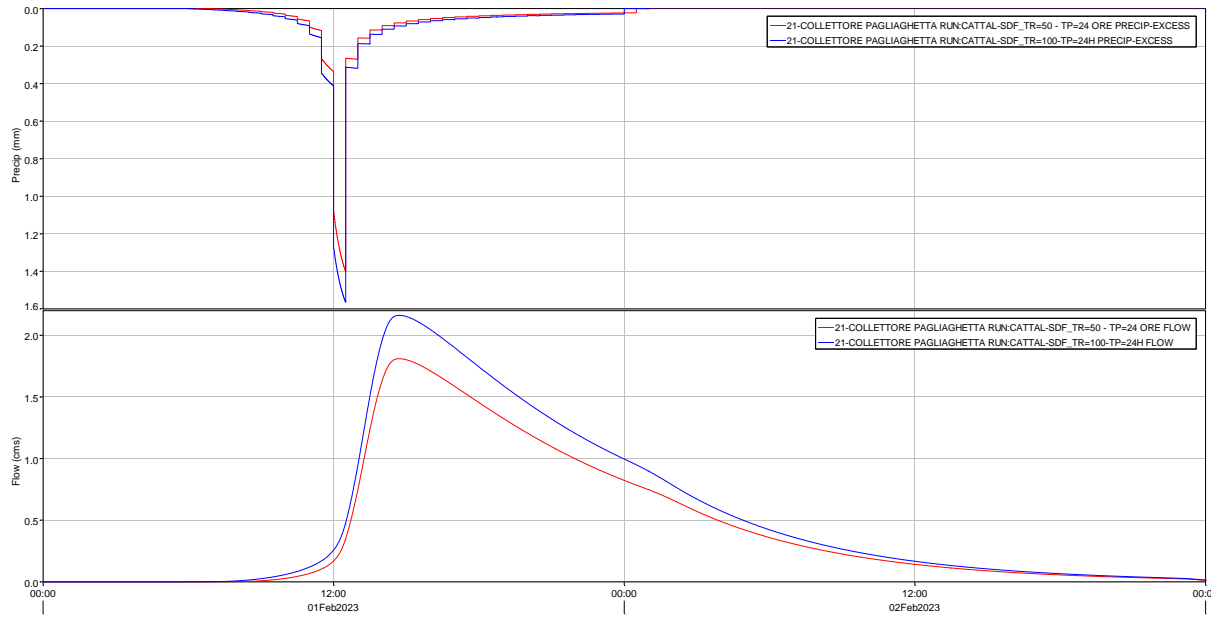


Figura 49. Sottobacino 21-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

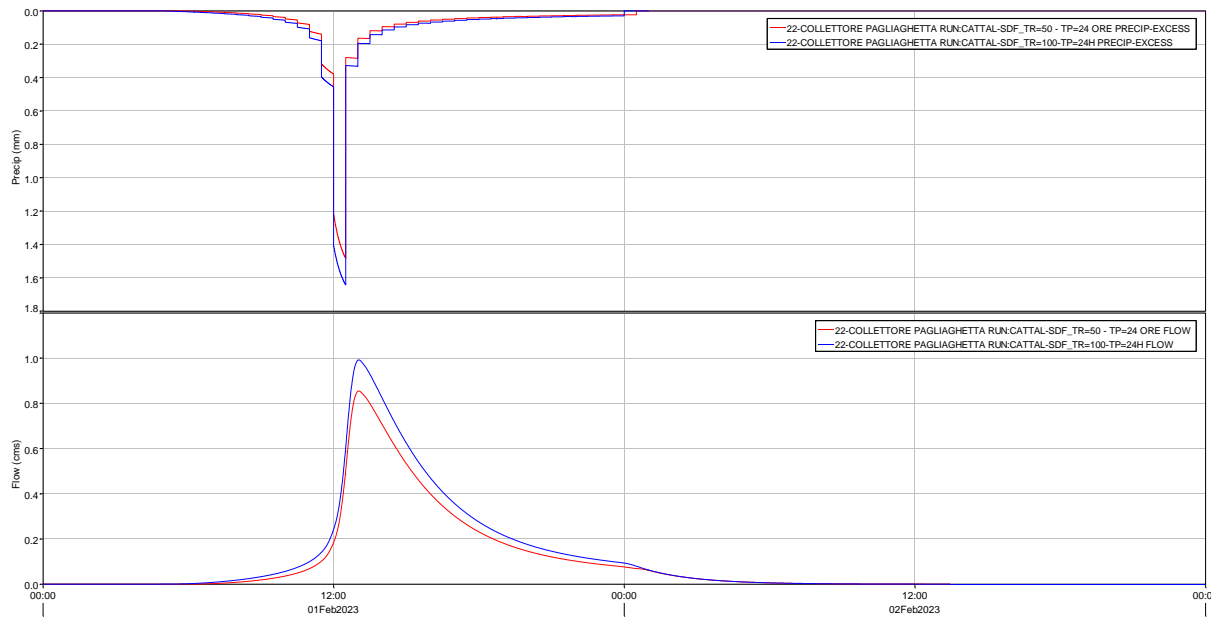


Figura 50. Sottobacino 22-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

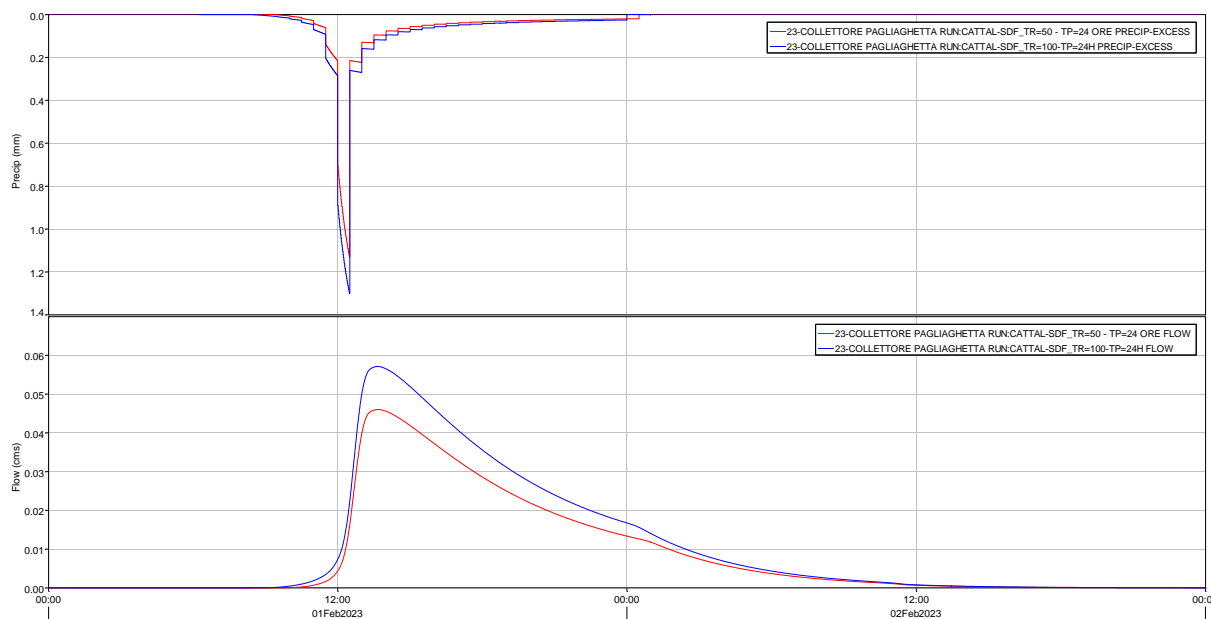


Figura 51. Sottobacino 23-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

Nelle figure seguenti sono rappresentati, per i sottobacini oggetto di trasformazioni, gli ietogrammi di pioggia efficaci e gli idrogrammi calcolati per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, nella configurazione 2037.

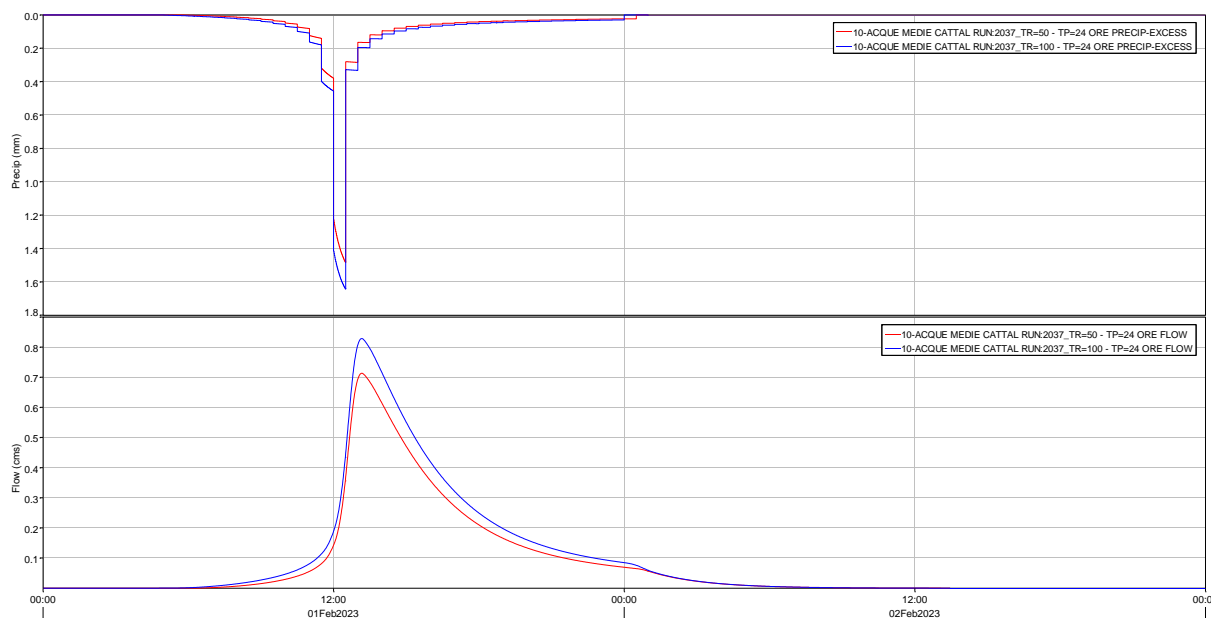


Figura 52. Sottobacino 10-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2014.

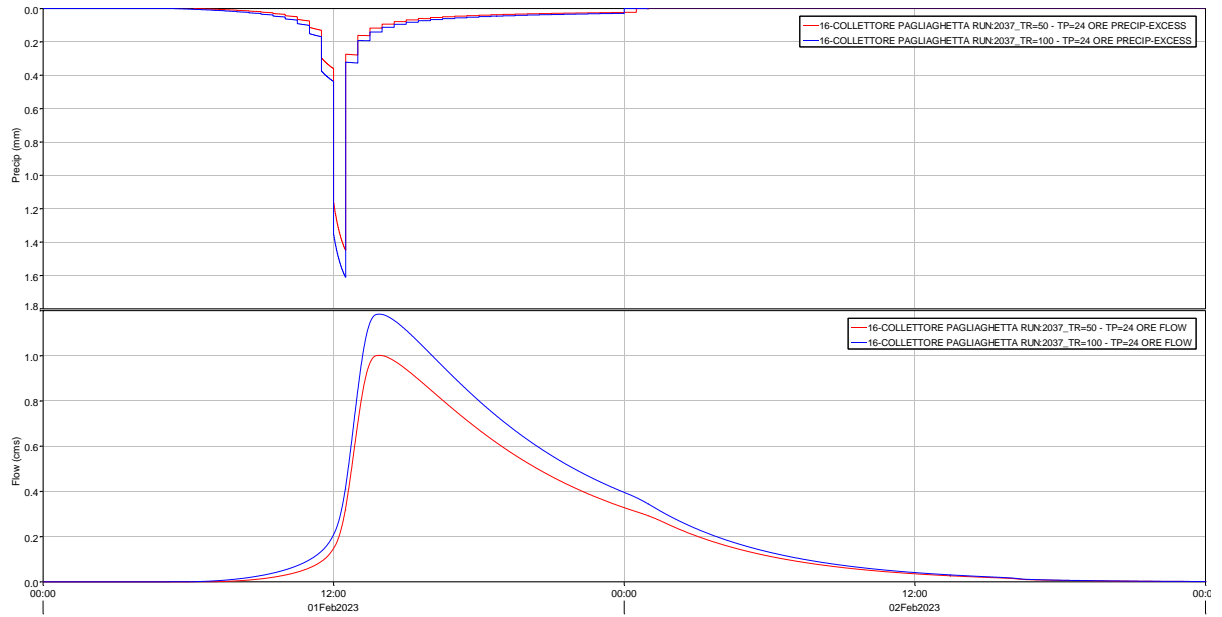


Figura 53. Sottobacino 16-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

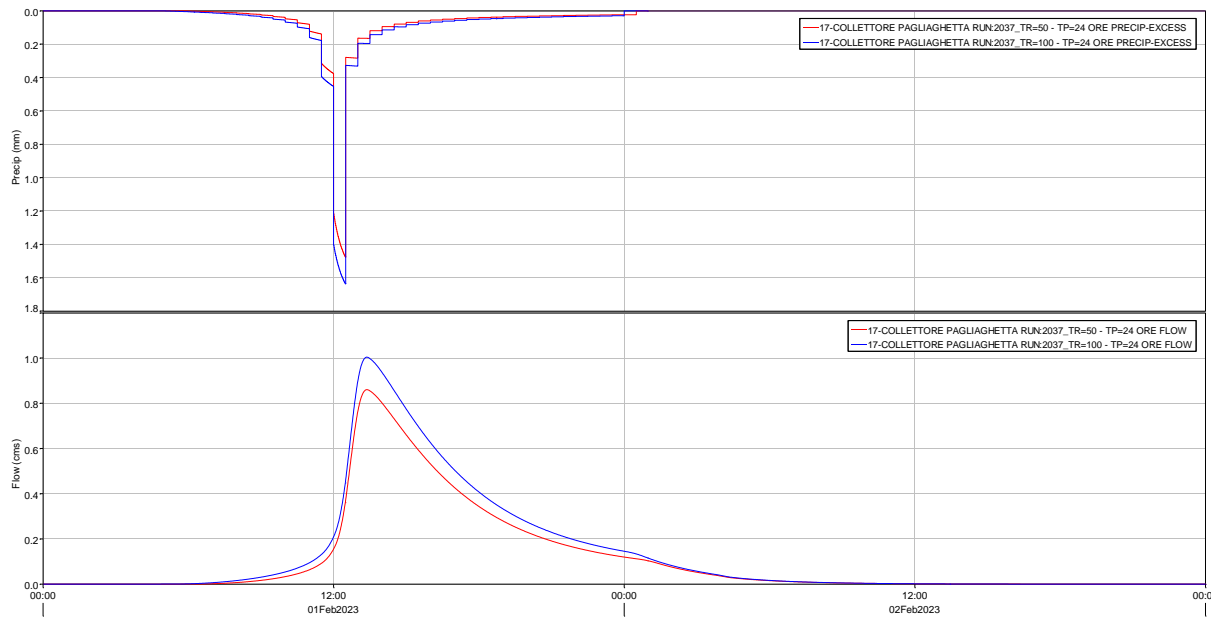


Figura 54. Sottobacino 17-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

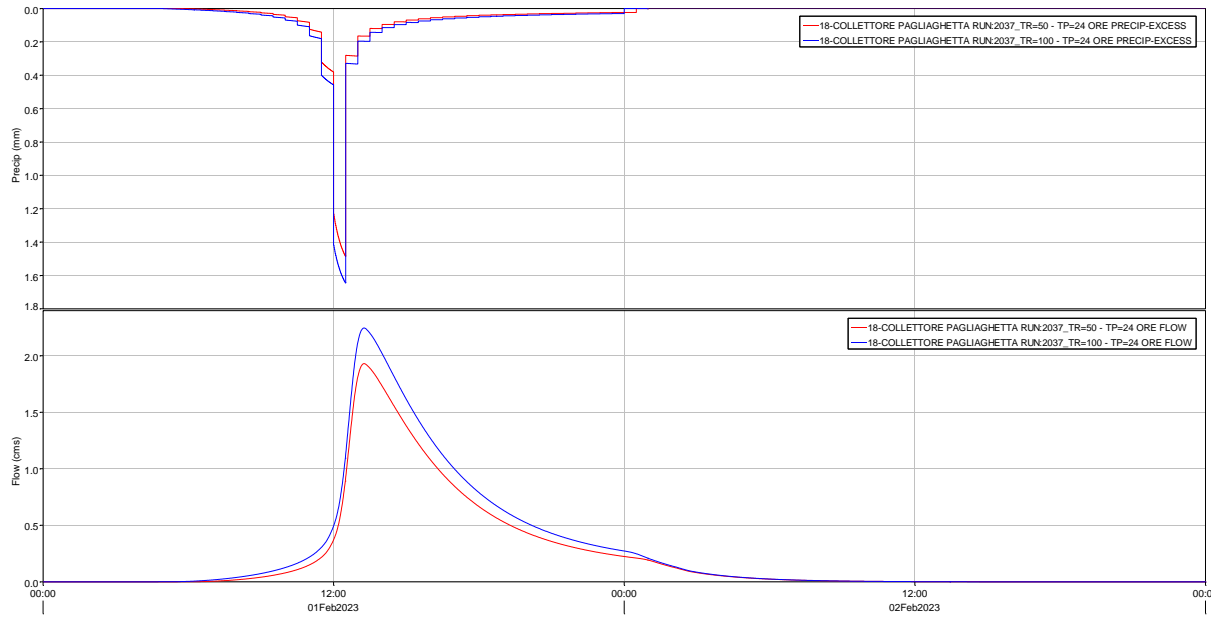


Figura 55. Sottobacino 18-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

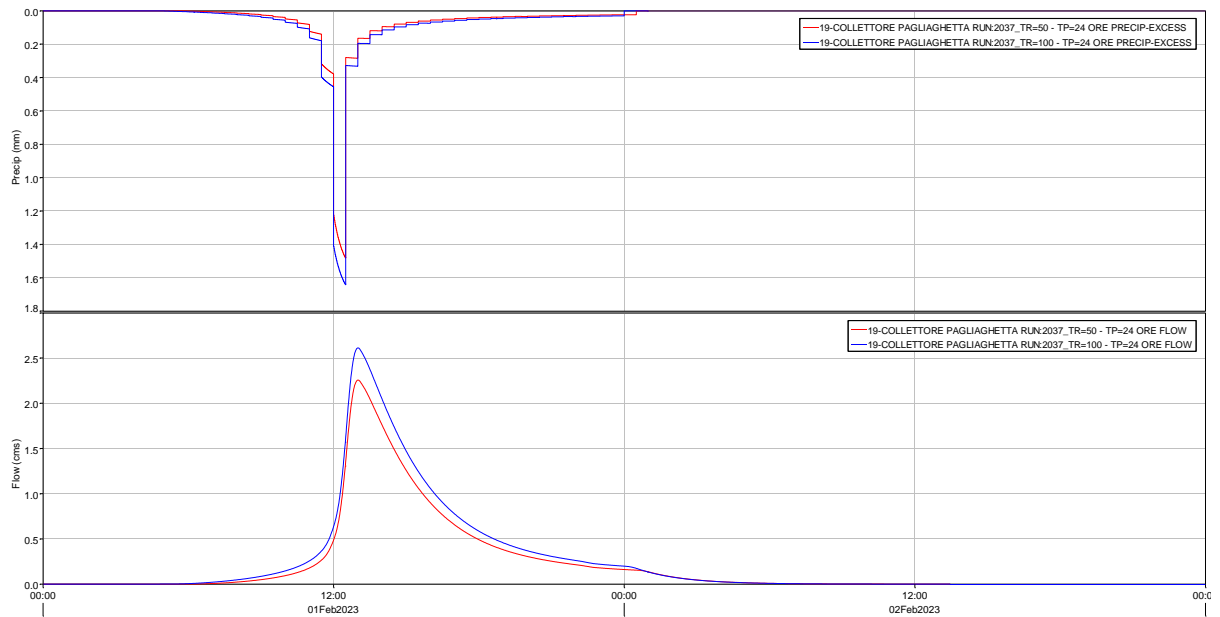


Figura 56. Sottobacino 19-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficace e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

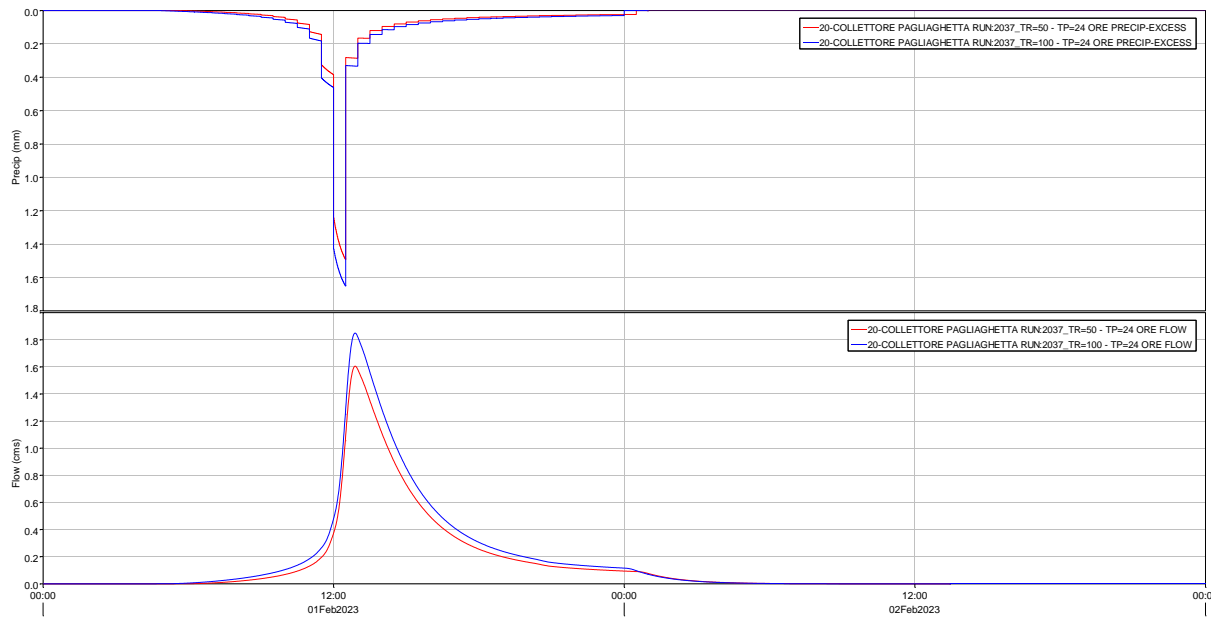


Figura 57. Sottobacino 20-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

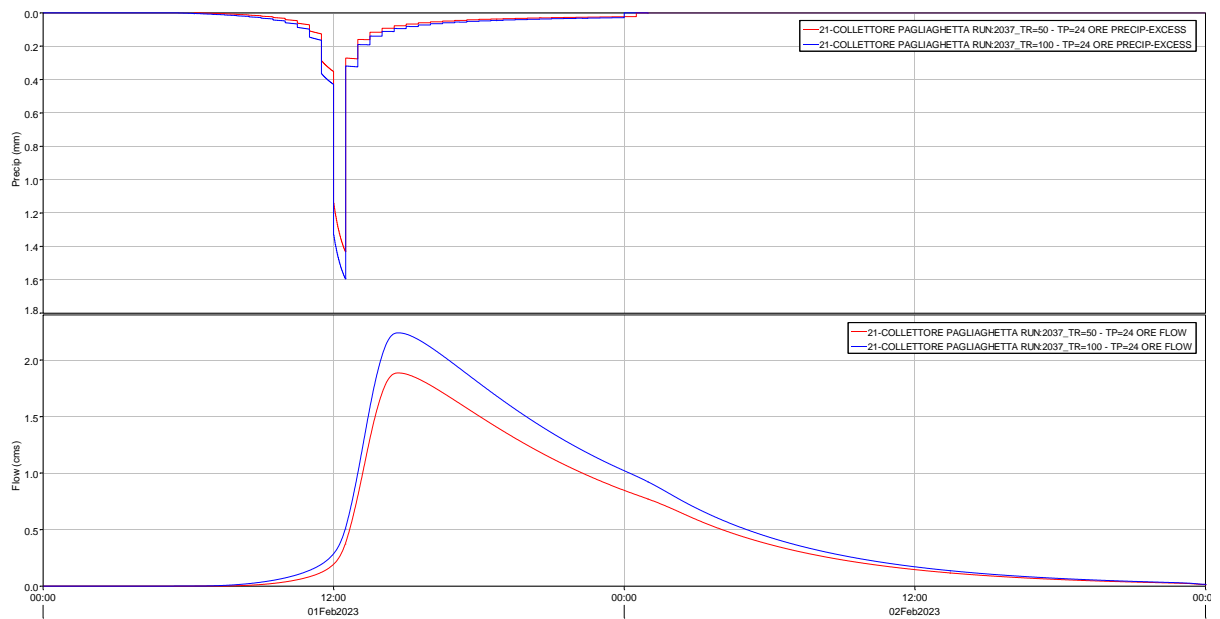


Figura 58. Sottobacino 21-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

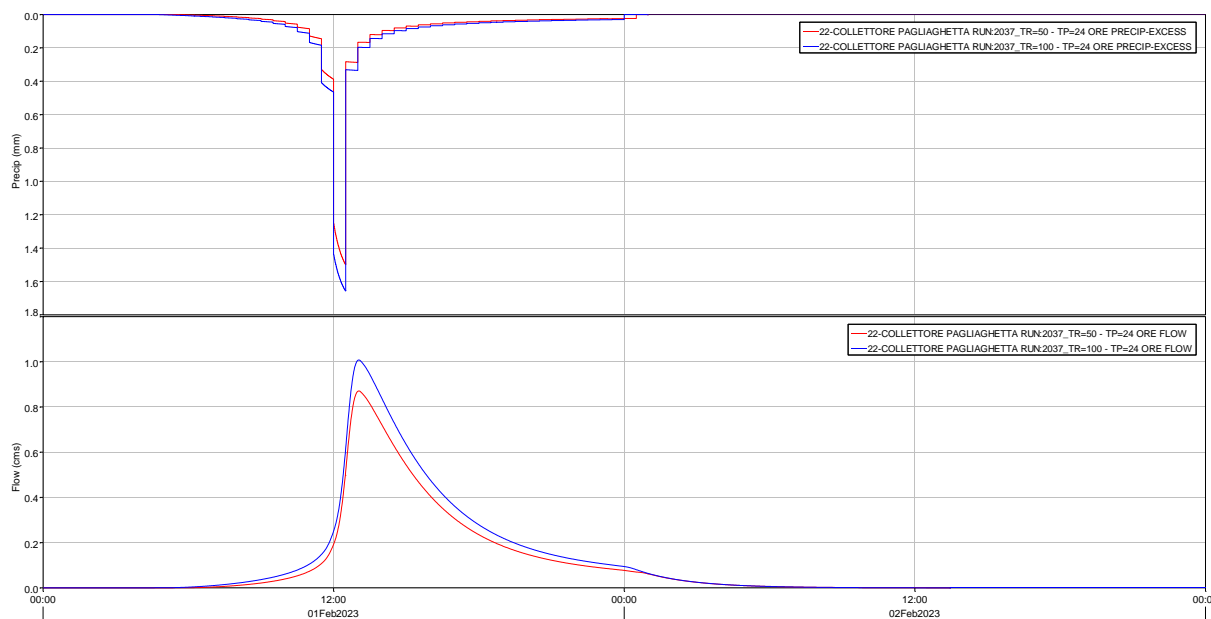


Figura 59. Sottobacino 22-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

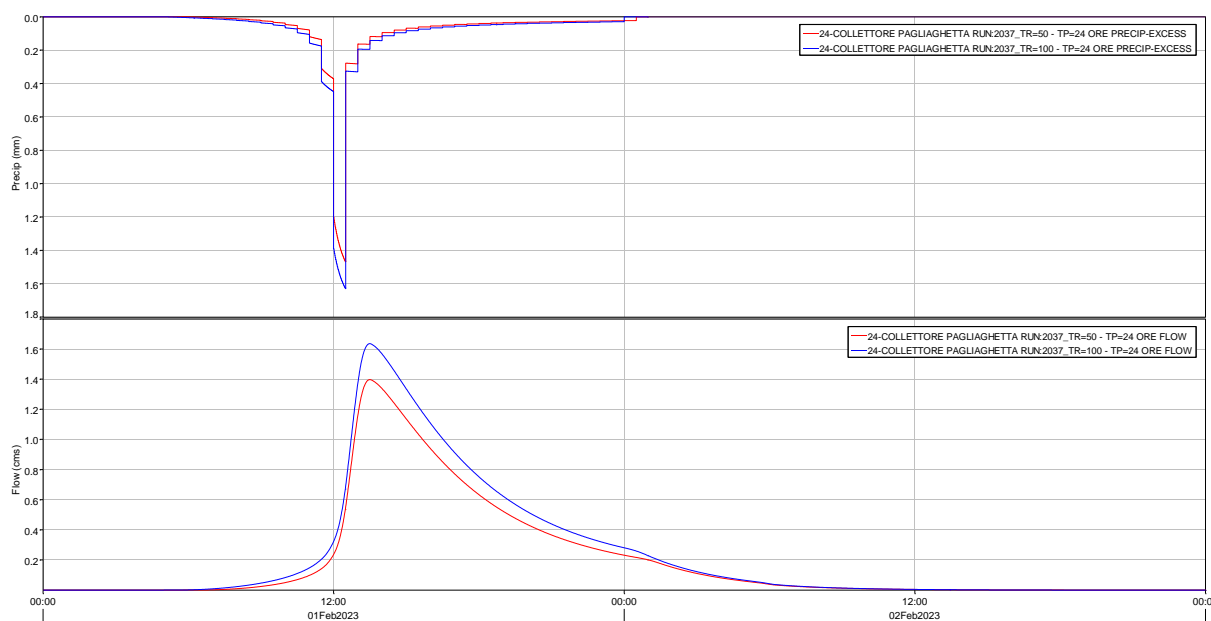


Figura 60. Sottobacino 24-Collettore Pagliaghetta: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

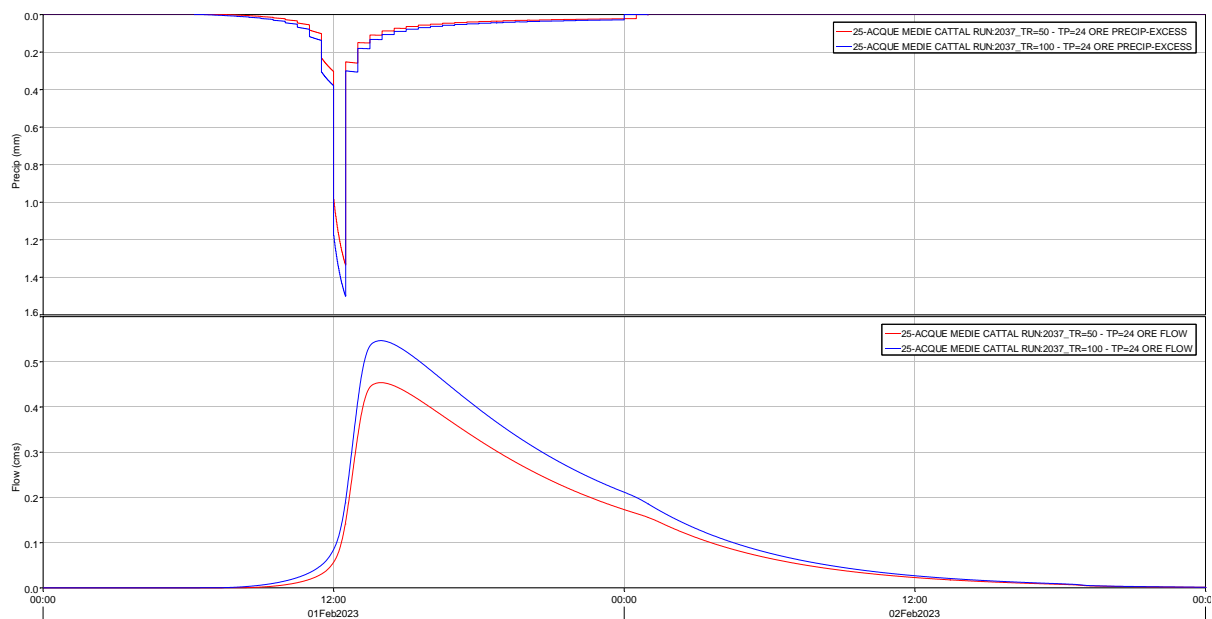


Figura 61. Sottobacino 25-Acque Medie Cattal: ietogrammi di pioggia efficaci e idrogrammi per TR 50 e 100 anni nella configurazione 2037.

3.2 *Analisi idraulica*

La modellazione idraulica dell'area in esame a mezzo del codice di calcolo HEC-RAS ha richiesto l'implementazione della geometria del sistema, la definizione delle condizioni al contorno e la calibrazione dei parametri idrologici e idraulici.

3.2.1 *Descrizione del modello monodimensionale*

HEC-RAS consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali ed artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori, paratoie, impianti idrovori, ecc...) eventualmente presenti nel sistema. Il modello è in grado di simulare indifferentemente sia canali singoli che reti di canali naturali od artificiali, chiuse od aperte, integrando profili di moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o di tipo "misto", oppure individuando la soluzione delle equazioni di De Saint Venant relative a moti idraulici monodimensionali a pelo libero.

Per quanto riguarda il calcolo dei profili a moto vario le equazioni risolte dal modello sono quelle di De Saint Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_f = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

in cui: A è l'area liquida [m²]

S è il volume liquido [m³]

t è il tempo [s]

Q è la portata [m³/s]

x è la distanza progressiva lungo il canale [m]

q_f è la portata lateralmente affluente per unità di lunghezza [m²/s]

V è la velocità [m/s]

g è l'accelerazione di gravità [m²/s]

z è l'elevazione del fondo del canale rispetto ad un prefissato riferimento [m]

S_f è la pendenza della linea dell'energia [-].

3.2.2 *Descrizione del modello bidimensionale*

Il software HEC-RAS a partire dalla versione 5.0 permette la modellazione bidimensionale del flusso idrico utilizzando sia le equazioni di De Saint Venant, sia le equazioni di diffusione dell'onda, con l'ulteriore possibilità di associare all'interno dello stesso progetto l'analisi monodimensionale e bidimensionale, ad esempio per l'alveo e le aree extra alveo.

L'interfaccia grafica è stata inoltre potenziata con nuovi strumenti GIS attraverso il modulo RAS Mapper, che consente la visualizzazione dei dati cartografici associati alla modellazione 2D, di importare nel software i modelli digitali del terreno, necessari per l'elaborazione dei risultati nel modello bidimensionale, oltre che l'osservazione dei risultati delle simulazioni.

Una volta create le 2D Flow Area con lo strumento Geometric Data, è possibile creare in automatico la mesh relativa al dominio realizzato, assegnando il valore di scabrezza di Manning e definendo la spaziatura delle celle in direzione x e y.

Le celle possono avere sia elementi rettangolari o quadrati (celle strutturate) sia elementi triangolari o quadrilateri con dimensioni diverse (celle non strutturate); in generale, HEC-RAS non permette la creazione di una cella con più di otto lati. In alcuni casi, come in presenza di ostacoli o di elevate pendenze del terreno, conviene infittire manualmente la mesh iniziale, in modo da giungere a soluzioni numeriche più precise. In altri casi, come in presenza di argini, è inoltre utile non solo infittire la mesh, ma anche orientare il posizionamento delle celle, per descrivere in modo più fedele l'andamento del terreno. Questa operazione è possibile disegnando una Break Line in corrispondenza dell'argine considerato.

Come detto è possibile in HEC-RAS creare all'interno dello stesso progetto aree a modellazione monodimensionale associandole a zone a modellazione bidimensionale.

L'associazione avviene introducendo un'opportuna condizione al contorno costituita da una struttura laterale (Lateral structure) se l'area 2D si trova in una zona esterna all'alveo, che invece viene modellato con un moto monodimensionale.

3.2.3 Definizione delle geometrie del modello

Le geometrie dei collettori e dei manufatti idraulici presenti lungo la rete di scolo nello scenario 1 pre-interventi sono state acquisite dal precedente modello idraulico sviluppato nell'anno 2015. Tali geometrie sono state definite a partire da un rilievo plano-altimetrico di campagna eseguito nel corso dell'anno 2015 e che ha interessato tutta la rete di collettori ricadenti all'interno del bacino Cattal, caratterizzati nel complesso da una lunghezza di poco inferiore ai 25,0 km (Tabella 9 e Figura 62).

Tabella 9. Lunghezza dei collettori del bacino Cattal (Scenario 1 "pre-interventi").

COLLETTORE	LUNGHEZZA [m]
ACQUE ALTE CATTAL	1'971
ACQUE BASSE CATTAL	1'567
ACQUE MEDIE CATTAL	6'895
CANALETTA CATTAL	860
CANALETTA IRRIGUA	1'744

CATTAL	2'511
ALTINATE	1'789
CONGIUNZIONE CATTAL DESE	627
FORNASOTTI	1'942
PAGLIAGA	1'448
PAGLIAGHETTA	2'748
TREGO DI LEVANTE	663
<i>TOTALE</i>	<i>24'765</i>

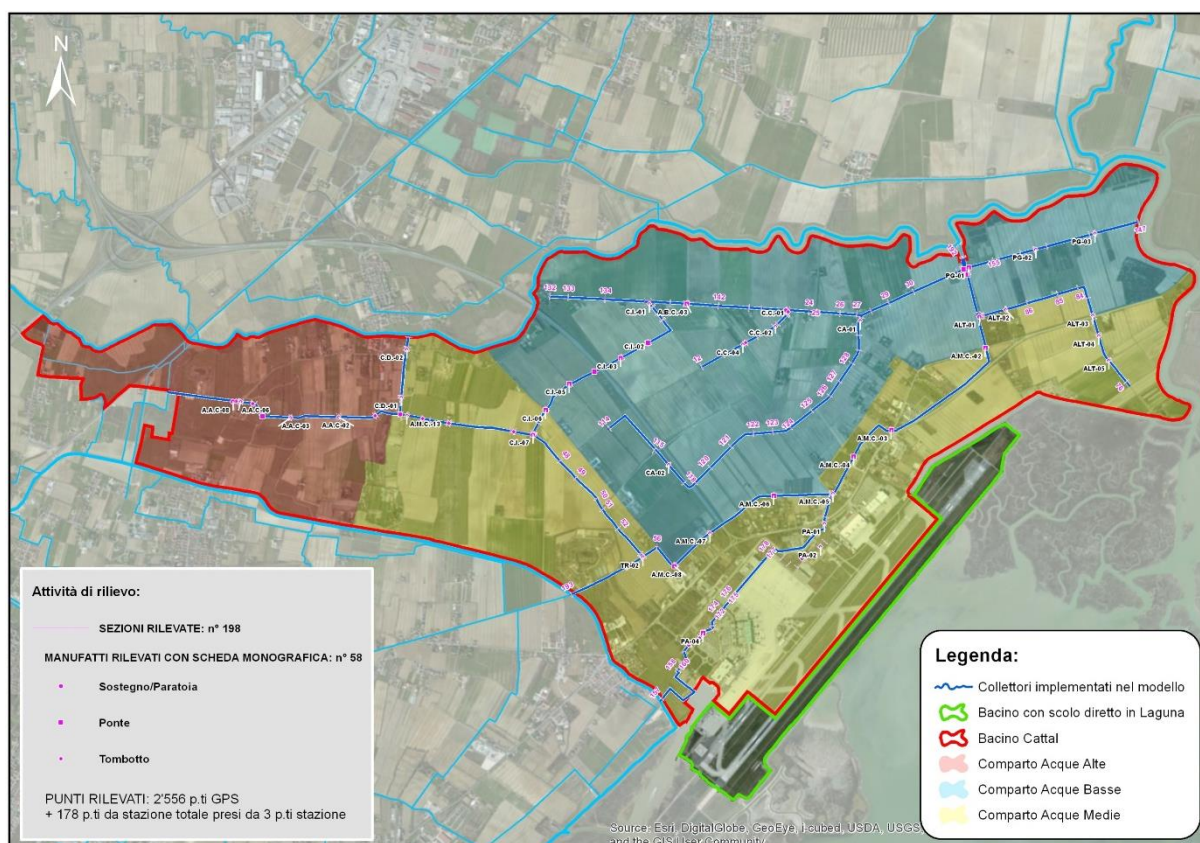


Figura 62. Sezioni e manufatti rilevati nel corso del rilievo del 2015 che ha definito lo scenario 1 pre-interventi (Immagine estratta dallo Studio idrologico-idraulico del Bacino Cattal – 2015).

In totale, nel corso del rilievo del 2015, erano stato rilevati 198 sezioni e 58 manufatti tra ponti, paratoie e tombotti.

La descrizione dei collettori ha richiesto inoltre un importante e complesso lavoro di integrazione tra rilievo di campagna e il modello digitale del terreno ricostruito dai dati LiDAR.

Poiché la tecnica di rilevamento LiDAR non è in grado di descrivere la batimetria al di sotto del pelo libero dei corsi d'acqua, la definizione della reale geometria delle sezioni dei collettori è avvenuta pertanto sovrapponendo i punti di rilievo con i dati LiDAR. Una manuale procedura di integrazione ha consentito di identificare e correggere particolari singolarità del DTM, ottenendo in definitiva la reale sezione del corso d'acqua impiegata per la successiva implementazione del modello idraulico.

La scabrezza dei canali è inserita nel modello specificando un coefficiente di Gauckler Strickler. I valori di riferimento utilizzati nel modello e verificati poi in sede di calibrazione, sono pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per i collettori non rivestiti, $50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per le canalette in cls, $90 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ per gli scatolari in cls.

Per la definizione delle geometrie dei nuovi collettori e dei manufatti idraulici realizzati successivamente al 2015 e che rappresentano gli elementi di aggiornamento del modello per gli scenari 2 e 3, sono stati acquisiti gli elaborati progettuali e di as-built degli interventi realizzati, forniti da SAVE e dal consorzio di bonifica Acque Risorgive.

Per quanto riguarda gli elementi non ancora oggetto di progettazione (riprotezione Pagliaghetta in Aeroterminal, modifica all'MP04, eliminazione parziale ramo morto del Pagliaghetta), questi sono stati implementati conformemente a quelli già esistenti o di progetto.

Le figure seguenti rappresentano nel dettaglio le geometrie implementate nel modello. In particolare, vengono confrontati i profili e le sezioni relativi ai tre scenari analizzati.

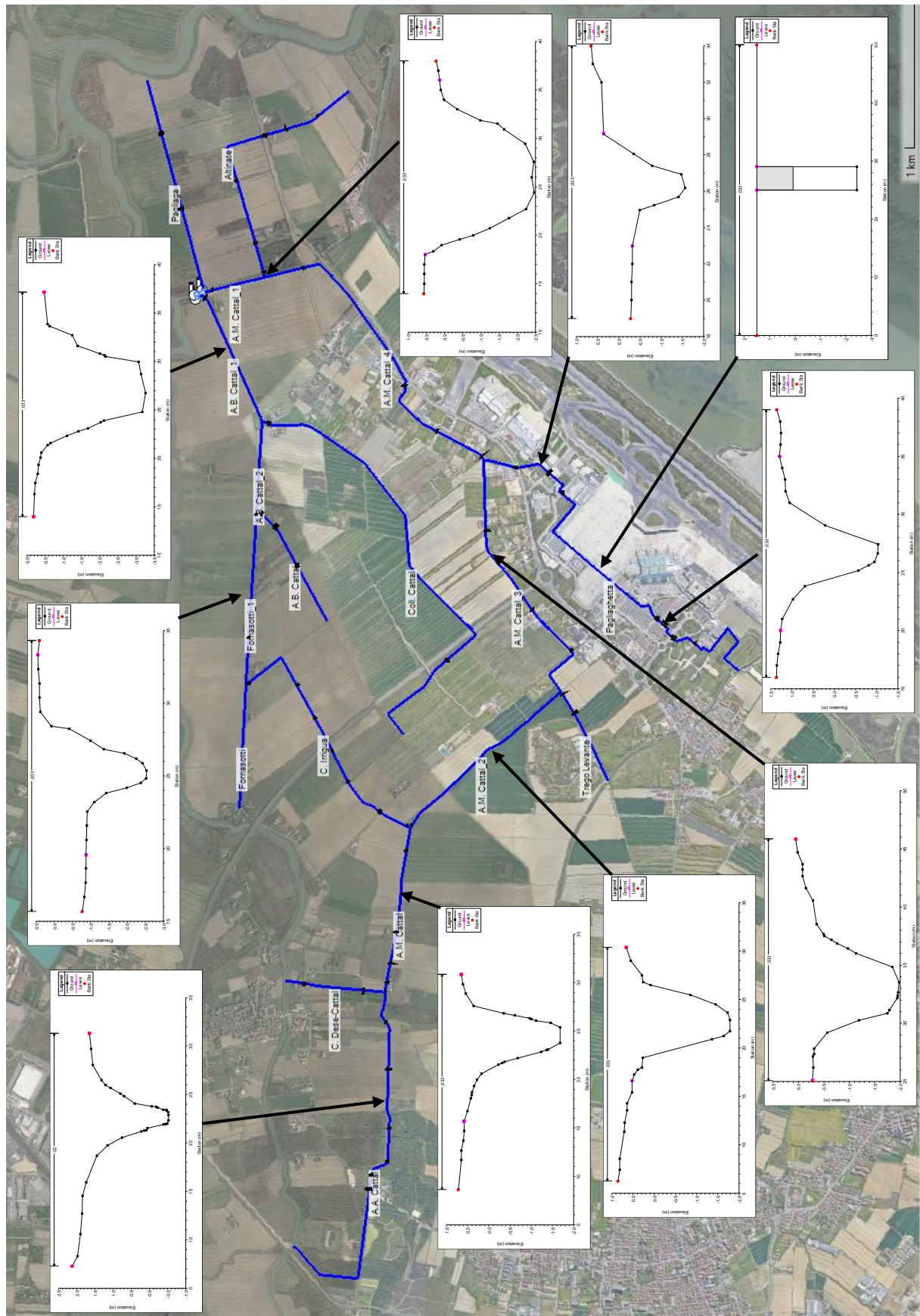


Figura 63. Rappresentazione della rete e di alcune sezioni relative allo scenario 1 pre-interventi. Immagine di sfondo estratta da Ras Mapper.



Figura 64. Rete implementata nel modello HEC-RAS – Scenario 2 “2037 solo cassa” (la cassa di laminazione è perimetrata in verde) e confronto tra le sezioni nello scenario 2 (in nero) e nello scenario 1 (in magenta). Immagine di sfondo estratta da Ras Mapper.



Figura 65. Rete implementata nel modello HEC-RAS – Scenario 3 “2037 con idrovora” (la cassa di laminazione è perimetrata in verde) e confronto tra le sezioni nello scenario 3 (in nero) e nello scenario 1 (in magenta). Immagine di sfondo estratta da Ras Mapper.

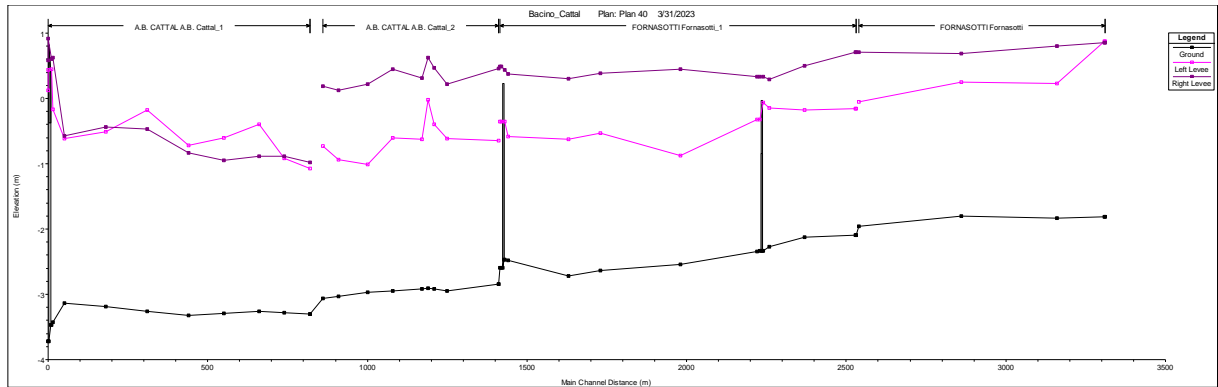


Figura 66. Profilo longitudinale dei collettori Fornasotti e Acque Basse, fino all'idrovora Cattal.

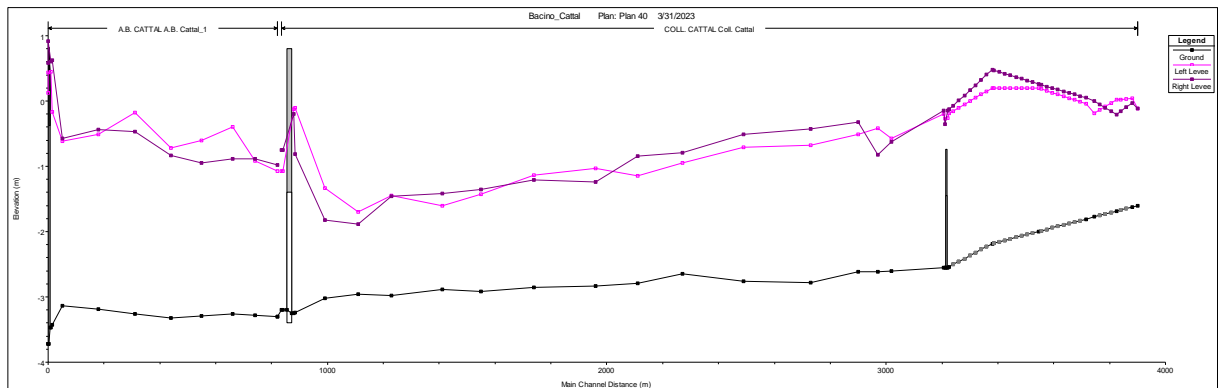


Figura 67. Profilo longitudinale dei collettori Cattal e Acque Basse, fino all'idrovora Cattal.

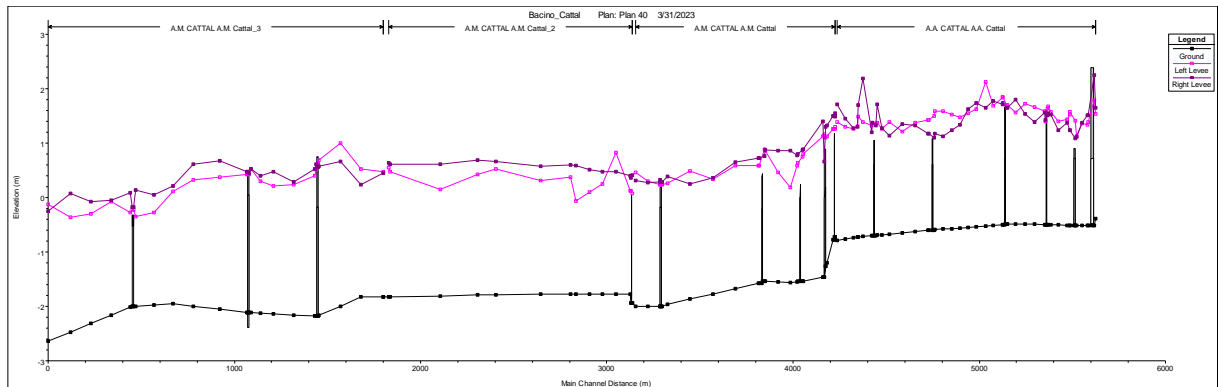


Figura 68. Profilo longitudinale dei collettori Acque Alte e Acque Medie, fino alla confluenza con il Pagliaghetta.

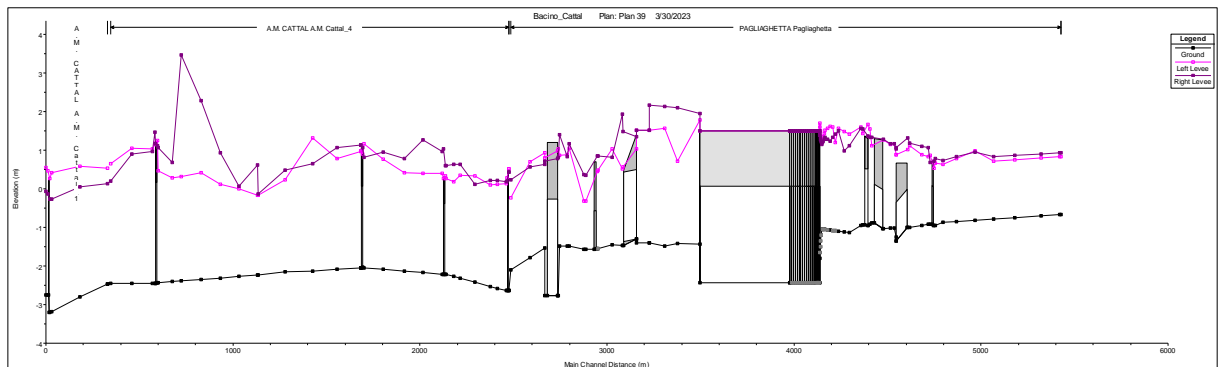


Figura 69. Profilo longitudinale dei collettori Pagliaghetta e Acque Medie, fino all'idrovora Cattal nello scenario 1.

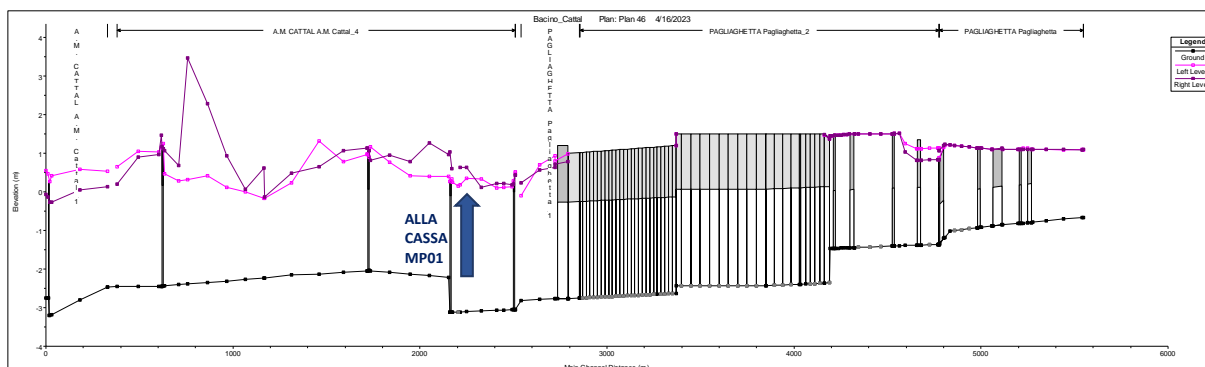


Figura 70. Profilo longitudinale dei collettori Pagliaghetta e Acque Medie, fino all'idrovora Cattal nello scenario 2.

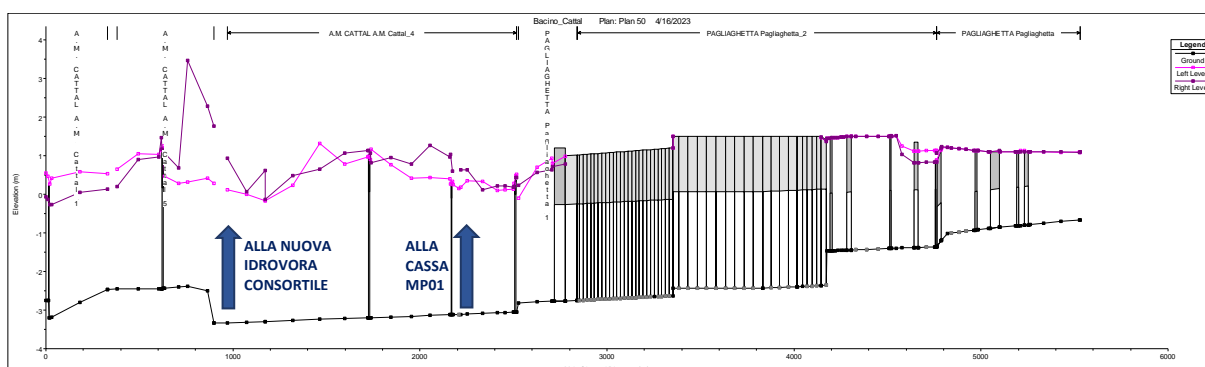


Figura 71. Profilo longitudinale dei collettori Pagliaghetta e Acque Medie, fino all'idrovora Cattal nello scenario 3.

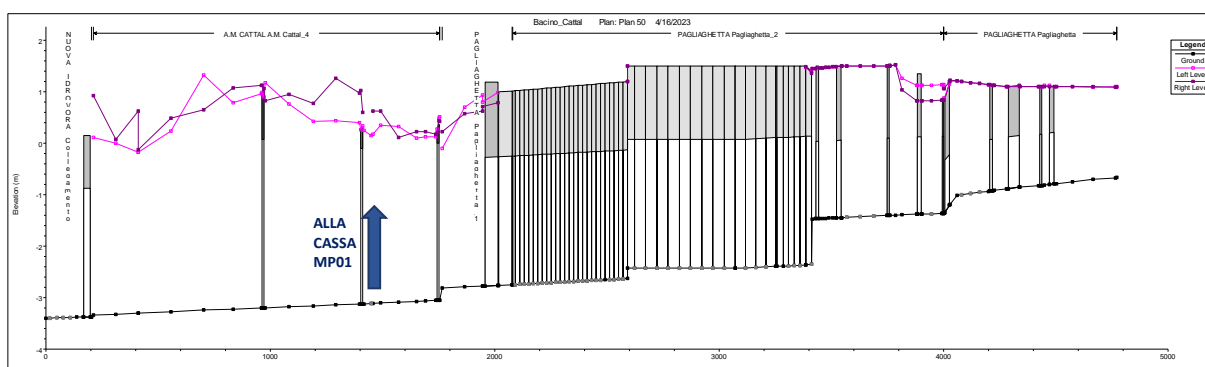


Figura 72. Profilo longitudinale dei collettori Pagliaghetta, Acque Medie Cattal e collegamento alla nuova idrovora consortile nello scenario 3.

3.2.4 Definizione delle condizioni al contorno

Le informazioni richieste da HEC-RAS nei files di *unsteady flow data* comprendono le informazioni relative alle condizioni al contorno nelle sezioni di monte e di valle dei canali, per le quali possono essere definiti gli andamenti nel tempo delle portate, dei livelli idrometrici, o la combinazione di entrambi, ad eventuali apporti di portata localizzati o uniformemente distribuiti lungo un tratto di canale, ai criteri di funzionamento di organi di regolazione inseriti in geometria.

Nel caso in esame, come condizione di monte si è scelto di utilizzare l'andamento delle portate nel tempo. Tuttavia, al fine di simulare i reali meccanismi di formazione dell'onda di piena, gli idrogrammi prodotti dall'analisi idrologica con HEC-HMS per ciascun sottobacino, non sono stati introdotti localmente nella sezione di monte di ciascun collettore bensì si è optato per

un'immissione distribuita sfruttando la condizione al contorno *Lateral Inflow*. Così, accanto alle condizioni al contorno richieste obbligatoriamente dal software per la risoluzione delle equazioni, se ne sono introdotte numerose altre.

A valle la condizione al contorno è rappresentata dal funzionamento dell'impianto idrovoro ed in particolare dalle quote di attacco e stacco delle pompe.

Queste sono state fornite, per quanto riguarda l'esistente impianto Cattal, dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive e sono riportate nella Tabella 10 seguente.

Tabella 10. Quote di funzionamento delle pompe dell'idrovoro Cattal (le quote sono riferite allo zero sul mare).

POMPA	PORTATA NOMINALE [l/s]	ESTATE		INVERNO	
		Quota partenza [m s.m.m.]	Quota stacco [m s.m.m.]	Quota partenza [m s.m.m.]	Quota stacco [m s.m.m.]
1 (Acque Basse)	3300	-2.00	-2.40	-2.00	-2.40
2 (Acque Basse)	1300	-2.50	-2.70	-2.50	-2.70
3 (Acque Medie)	1500	-1.25	-1.45	-1.45	-1.60
4 (Acque Basse)	1300	-2.25	-2.45	-2.50	-2.70
5 (Acque Medie)	1500	-1.00	-1.20	-1.65	-1.85
6 (Acque Basse)	1020	-2.20	-2.40	-2.60	-2.80

Per quanto riguarda la pompa 7 sul canale Pagliaga, della portata di 650 l/s, non sono state fornite le quote di attacco e stacco. In assenza di dati esse sono state poste uguali a quelle della pompa 6 AB.

Con riferimento allo scenario 2 sono state definite le quote di attacco e stacco delle pompe a servizio della cassa di laminazione, e posizionate all'opera di presa dal canale Acque Medie Cattal. Le due pompe, della portata di 1750 l/s ciascuna, si attivano quando il livello nel Canale Acque Medie supera -0.80 m s.m.m. mentre l'arresto è stato imposto al raggiungimento della quota +0.10 m s.m.m. nella cassa di laminazione.

Le pompe a servizio della cassa di laminazione non sono state inserite nello scenario 3.

Infine, per la nuova idrovoro consortile, inserita nello scenario 3, dotata di due pompe da 4 m³/s ciascuna, le quote di attacco sono state definite da progetto pari a -2.00 e -2.20 m s.m.m. mentre le quote di stacco sono state poste a valore più elevato rispetto alla quota di progetto e sono state fissate rispettivamente a -2.20 e -2.40 m s.m.m. Tale assunzione è stata necessaria per evitare che la quota molto depressa prevista dal progetto determinasse fenomeni di instabilità del modello, e comunque comporta un risultato a favore di sicurezza.

Ulteriore condizione al contorno da imporre nella configurazione del sistema è rappresentata dal meccanismo di funzionamento della paratoia di collegamento tra i mandracchi delle acque medie e delle acque basse presso l'idrovoro Cattal. Con lo scopo di simulare le manovre dell'operatore, certo

imprevedibili nella loro esattezza, si è imposta una apertura massima di 40 cm da iniziarsi quando il livello idrico nel mandracchio delle acque medie raggiunge quota pari a -1 m s m.m. con una velocità assai ridotta e pari a 0,5 cm/minuto. La chiusura avviene con la stessa velocità quando il livello raggiunge i -1.5 m s m.m..

Tale condizione viene mantenuta identica nei tre scenari al fine di poter confrontare i risultati. È indubbio tuttavia che una diversa gestione del manufatto potrebbe portare ad un ulteriore miglioramento del funzionamento del futuro sistema.

Nello scenario 2 è stata inserita una paratoia sullo scatolare di imbocco della cassa di laminazione. Tale paratoia può essere chiusa quando il livello all'interno della cassa eguaglia il livello sul Canale Acque Medie. In tal modo la cassa risulta alimentata solamente mediante le pompe.

Infine, per le 2D Flow Area, in corrispondenza di interruzioni delle Strutture laterali sono state inserite BC Lines con portata nulla, per evitare eventuali perdite di volume attraverso il bordo delle aree 2D.

3.3 Calibrazione del modello

Per la calibrazione del modello si è utilizzato lo scenario 1 – pre-interventi. Tale scelta risiede nel fatto che il periodo successivo all'anno 2015, dopo l'avvio dei vari interventi idraulici che hanno interessato il bacino e in particolare l'ambito aeroportuale, risulta caratterizzato da una situazione di continua trasformazione, con sovrapposizione di cantieri ed opere entrate in funzione in periodi diversi, oltre che da misure di gestione del bacino complesse, che avrebbero richiesto da un lato una ricostruzione dettagliata delle fasi di sviluppo e la predisposizione di ulteriori scenari transitori, patendo inoltre una maggiore incertezza legata al simulare condizioni di funzionamento di manufatti per i quali non si disponeva di dati di misura.

Con riferimento al periodo assunto per la calibrazione il Consorzio di bonifica Acque Risorgive ha fornito i dati di telemisura relativi ai livelli dei canali Acque Medie Cattal e Acque Basse Cattal in corrispondenza del mandracchio dell'impianto idrovoro e i tempi di attacco e stacco delle pompe registrati nei mesi di gennaio, febbraio e settembre dell'anno 2014.

Per quanto riguarda i dati pluviometrici, sono stati forniti sempre dal Consorzio di bonifica i dati di misura delle stazioni ARPAV di Mogliano Veneto e di Favaro Veneto relativi agli stessi periodi. Per la definizione dell'evento da utilizzare per la calibrazione del modello si è considerata la stazione di Favaro Veneto in quanto più prossima al bacino Cattal oggetto di studio.

Potendosi quindi riferire esclusivamente ai dati relativi ai livelli in corrispondenza dei mandracchi dei canali Acque Medie e Acque Basse, e ai periodi di funzionamento delle pompe, la calibrazione ha riguardato principalmente il bilancio dei volumi, con riferimento alla caratterizzazione idrologica del bacino, e secondariamente l'andamento dei livelli dei collettori nel tratto di arrivo all'idrovoro. Sono tuttavia numerosi gli elementi che presentano un certo grado di incertezza e che determinano l'assunzione di una tolleranza rispetto ai risultati della calibrazione.

Con riferimento ad esempio agli eventi pluviometrici considerati per effettuare la calibrazione, si è osservato che, per gli stessi eventi, il dato pluviometrico tra le stazioni di Mogliano e Favaro presentava una differenza di oltre il 15%. È pertanto plausibile ritenere che una simile differenza si possa avere anche rispetto all'evento che ha interessato il bacino Cattal.

Tale differenza si ripercuoterebbe da un lato sui volumi complessivi di afflusso e conseguentemente di deflusso, dall'altro lato su un possibile sfasamento temporale dei picchi tra livelli misurati e simulati.

3.3.1 Individuazione degli eventi per la calibrazione

Dall'analisi dei dati pluviometrici relativi alla stazione ARPAV di Favaro Veneto sono stati individuati due eventi significativi: il primo accaduto nel periodo invernale, tra il 29 gennaio e il 4

febbraio 2014, di complessivi 171 mm; il secondo nel periodo dal 21 al 22 settembre, di circa 74 mm.

Si riportano di seguito i diagrammi della pioggia aggregata in intervalli orari per i due eventi considerati.

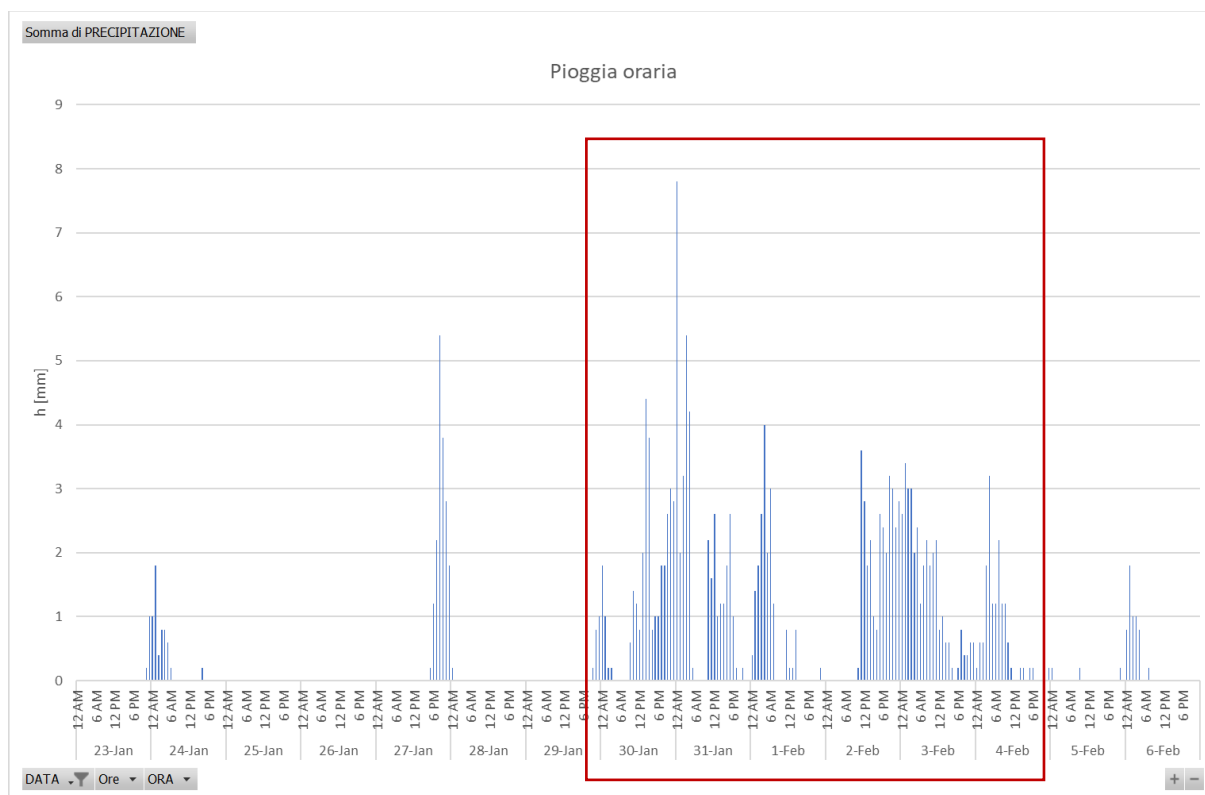


Figura 73. Diagramma della pioggia relativa all'evento del 29/1/2014-4/2/2014, aggregata in intervalli orari.

Dal grafico di Figura 73, si può osservare che l'evento 29/1-4/2 è caratterizzato da un periodo antecedente l'evento con precipitazioni (24 e 27 gennaio) di circa 25 mm totali.

Per attribuire un valore probabilistico all'evento si considera il totale di pioggia di 171 mm nell'arco di circa 5 giorno e mezzo. Rispetto ai parametri stimati dallo studio idrologico considerato, l'evento avrebbe tempo di ritorno compreso tra 5 e 10 anni.

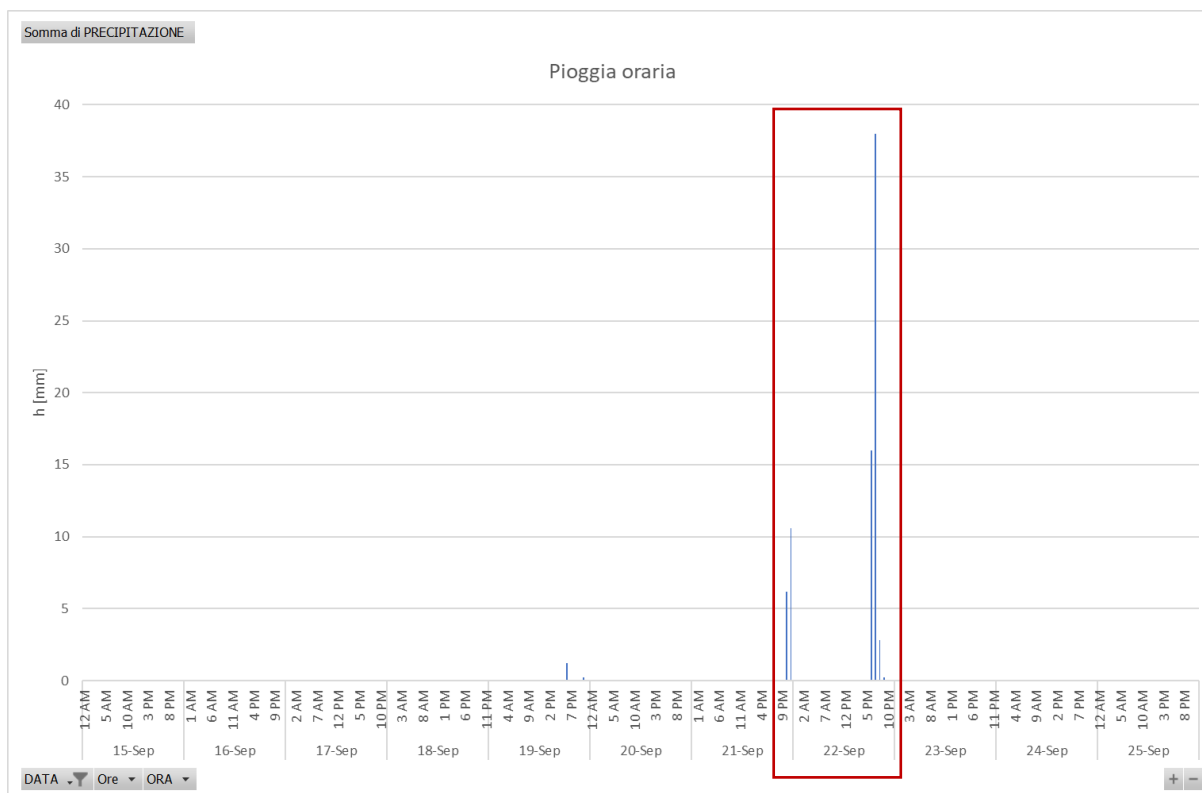


Figura 74. Diagramma della pioggia relativa all'evento del 21-22/9/2014, aggregata in intervalli orari.

Dal grafico di Figura 74 si può osservare che l'evento di settembre è caratterizzato da un periodo antecedente l'evento di oltre 5 giorni con precipitazioni molto ridotte.

Per attribuire un valore probabilistico all'evento è possibile considerare il totale di pioggia di 74 mm nell'arco di circa 24 ore, o considerare l'evento suddiviso in due sub-eventi, il primo di 17 mm e durata 35 minuti, il secondo di 57 mm e durata 3 ore.

Nel primo caso, rispetto ai parametri stimati dallo studio idrologico considerato, l'evento avrebbe tempo di ritorno inferiore ai 2 anni. Considerando gli eventi separatamente, il primo risulterebbe anch'esso avere tempo di ritorno inferiore ai due anni mentre il secondo di 3 ore avrebbe tempo di ritorno di circa 5 anni.

Si riportano di seguito, per ciascun evento analizzato, i parametri idrologici utilizzati, le condizioni al contorno definite nel modello e i relativi risultati.

3.3.2 *Evento del 29/1-4/2*

Come detto, l'evento relativo al periodo 29/1-4/2 è caratterizzato da un periodo piovoso antecedente l'evento, con una precipitazione nei cinque giorni precedenti di circa 25 mm.

Tale circostanza ha indotto ad assumere come parametro del modello di calcolo della pioggia efficace il CN relativo alla condizione di minima capacità di infiltrazione del suolo, ovvero il CNIII.

Un ulteriore effetto dipendente dalle piogge avvenute nel periodo precedente è la presenza di una portata di esaurimento determinata dal drenaggio dei terreni parzialmente saturati dalla pioggia. Tale effetto risulta ben rappresentato dall'andamento dei livelli, caratterizzato da frequenti attacchi e stacchi delle pompe, sia nel canale della Acque Basse, sia in quello delle Acque Medie, in corrispondenza dell'idrovora, nella fase precedente l'evento pluviometrico oggetto di simulazione. Per tener conto di tale fenomeno nella simulazione, si è stimata, a partire dai volumi di sollevamento calcolati in base ai tempi di funzionamento delle pompe, la portata media giornaliera della falda drenata dalla rete. Questa è risultata pari a 1,56 m³/s nel periodo precedente l'evento.

Tale portata è assunta poi via via decrescente, per effetto dei maggiori livelli nei canali che riducono il gradiente e quindi la capacità di drenaggio in falda dei terreni, riducendosi nel corso dell'evento fino a 0,12 m³/s. La portata di falda viene inserita come condizione al contorno suddivisa tra i sottobacini in proporzione alle superfici.

Dall'analisi dell'andamento dei livelli si è infine osservato come le quote di attacco e stacco delle pompe non corrispondesse a quelle dichiarate per il periodo invernale.

In effetti, si potrebbe dire che il funzionamento delle pompe è di tipo semi automatico, l'idrovorista può, in base alle circostanze particolari di un evento, attivare manualmente le pompe o modificarne le quote di attacco e stacco. Un'ulteriore variabile di incertezza è determinata dalla manovra di apertura e chiusura della paratoia di collegamento tra il mandracchio delle acque medie verso quello delle acque basse.

Pertanto con riferimento in particolare alle quote di attacco e stacco delle pompe nel modello, queste sono state adattate ai livelli riscontrabili con buona approssimazione dalla lettura dei dati di misurazione.

Nella seguente Tabella 11 sono riportati i volumi in uscita dal sistema acque medie e dal sistema acque basse relativi ai dati misurati e ai risultati della simulazione.

Nel caso dei dati misurati il volume in uscita è stato stimato moltiplicando il tempo di funzionamento delle pompe, ridotto di 60 secondi per tener conto del transitorio, per la portata nominale della pompa.

Nel caso dei volumi della simulazione, essi sono calcolati direttamente dal modello.

Tabella 11. Confronto tra volumi misurati e volumi da simulazione in uscita dal bacino Cattal nel corso dell'evento 29/1-4/2.

Comparto	Volume DATI MISURATI [Mm ³]	Volume SIMULAZIONE [Mm ³]
Acque Medie	1,46	1,48
Acque Basse	2,03	1,83
<i>Totale</i>	<i>3,49</i>	<i>3,31</i>

In termini percentuali la differenza sui volumi risulta dell'ordine del 2% per il comparto acque medie e del 10% per quello delle acque basse. Tali valori sono compatibili con la tolleranza ammessa in base alle ipotesi di calcolo assunte e ai fattori di indeterminatezza descritti.

Nelle figure seguenti sono messi a confronto i livelli misurati e quelli ottenuti dalla simulazione per i comparti delle acque medie e delle acque basse.

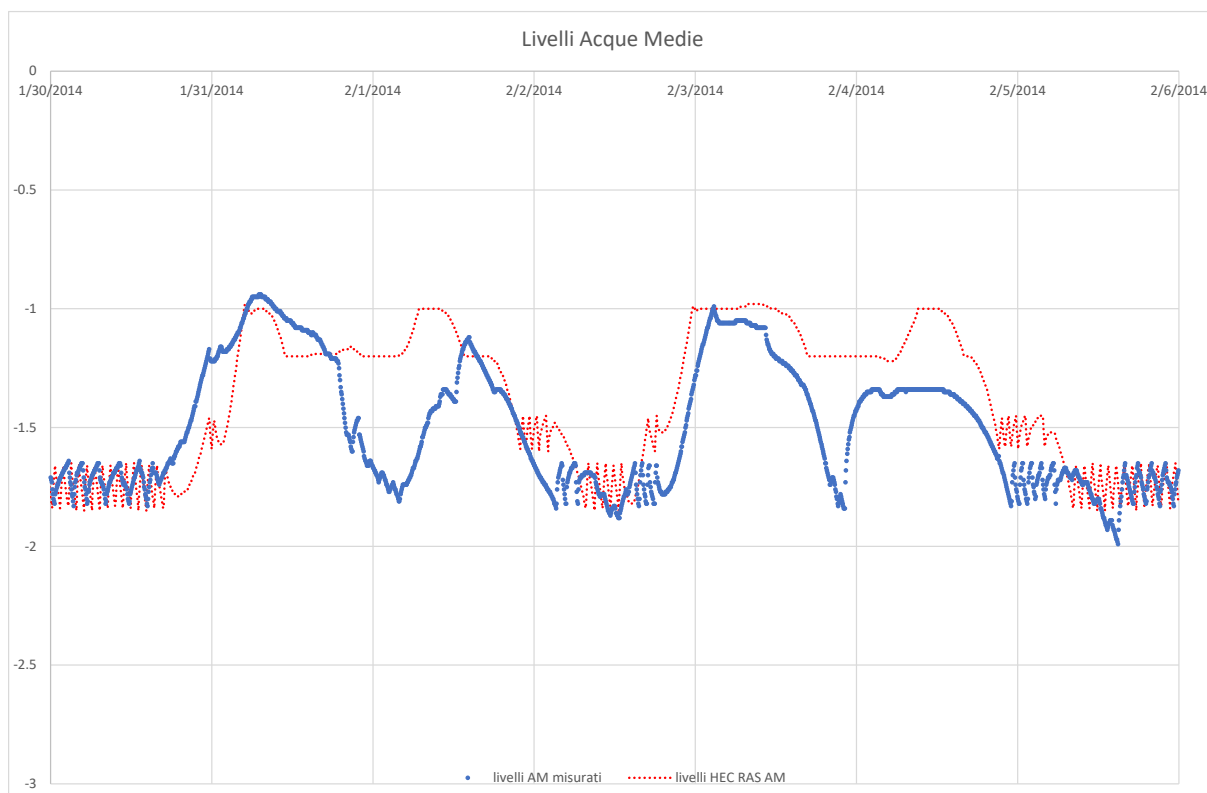


Figura 75. Confronto tra livelli misurati e livelli da simulazione sul mandracchio del comparto Acque Medie nel corso dell'evento 29/1-4/2.

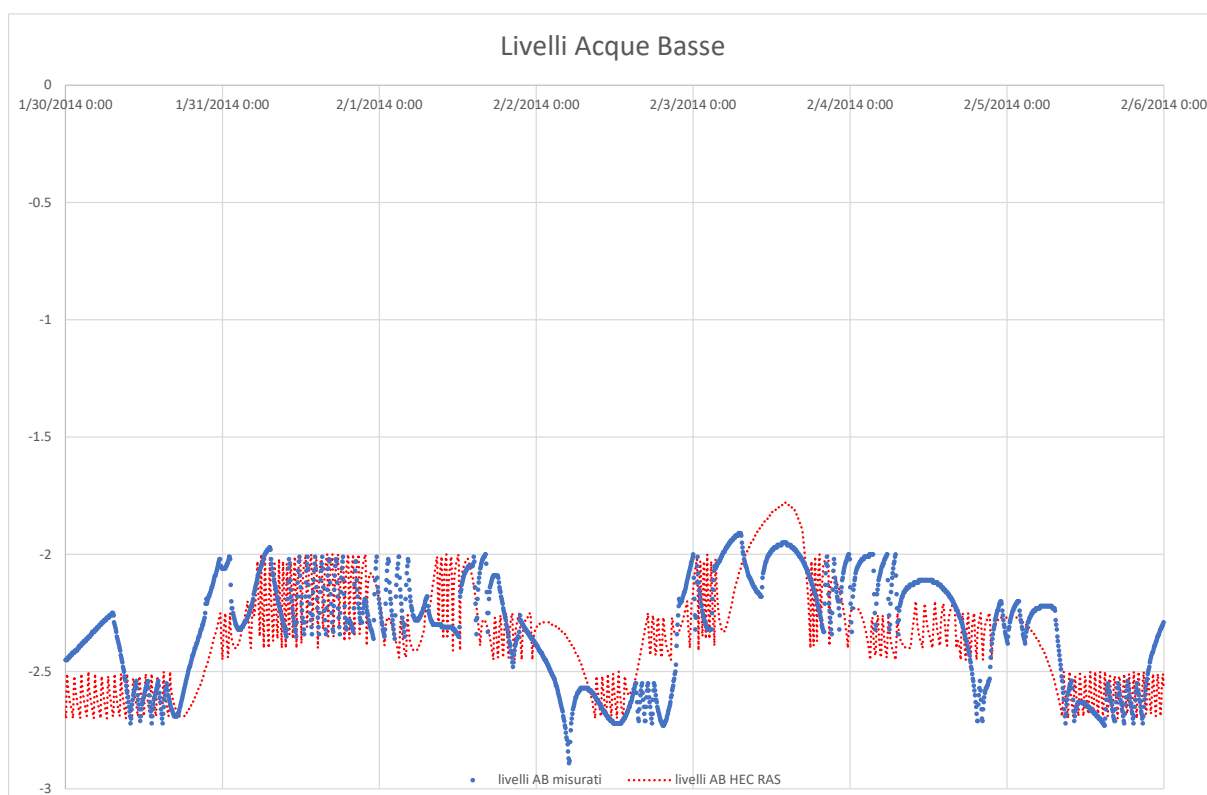


Figura 76. Confronto tra livelli misurati e livelli da simulazione sul mandracchio del comparto Acque Basse nel corso dell'evento 29/1-4/2.

3.3.3 Evento del 21-22/9

L'evento relativo al periodo 21-22/9 è caratterizzato da un periodo antecedente l'evento di oltre 5 giorni con scarse precipitazioni.

Tuttavia la presenza di una falda poco profonda ha indotto ad assumere come parametro del modello di calcolo della pioggia efficace il CN relativo alla condizione di media capacità di infiltrazione del suolo, ovvero il CNII.

Rispetto all'evento di gennaio non si osserva in base all'andamento dei livelli la presenza di una portata di esaurimento in rete, e pertanto nella simulazione non sono state considerate portate legate a tale fenomeno. Tuttavia per esigenze di stabilità del modello stesso, in particolare della rete del sistema acque basse, è stata comunque introdotta una portata minima in corrispondenza delle sezioni iniziali dei collettori, con valore variabile in base all'esigenza tra 10 e 100 l/s, nei periodi in cui la portata dell'idrogramma risulta inferiore a tale valore minimo.

Sempre per esigenze di stabilità la condizione al contorno iniziale richiede dei tiranti in rete superiori rispetto a quelli reali.

Tutto ciò, pur determinando una minima differenza nel bilancio idrologico, comporta un diverso andamento dei livelli e conseguente funzionamento delle pompe, nel periodo antecedente l'evento, per il comparto acque basse.

Vale infine anche per l'evento di settembre quanto espresso riguardo le quote di attacco e stacco delle pompe e la manovra della paratoia di collegamento tra mandracchio acque medie e quello acque basse, in merito all'evento di gennaio analizzato nel precedente paragrafo.

Nella seguente Tabella 12 sono riportati i volumi in uscita dal sistema acque medie e dal sistema acque basse relativi ai dati misurati e ai risultati della simulazione.

Nel caso dei dati misurati il volume in uscita è stato stimato moltiplicando il tempo di funzionamento delle pompe, ridotto di 60 secondi per tener conto del transitorio, per la portata nominale della pompa.

Nel caso dei volumi della simulazione, essi sono calcolati direttamente dal modello.

Tabella 12. Confronto tra volumi misurati e volumi da simulazione in uscita dal bacino Cattal nel corso dell'evento 21-22/9.

Comparto	Volume DATI MISURATI [Mm ³]	Volume SIMULAZIONE [Mm ³]
Acque Medie	0,35	0,3
Acque Basse	0,28	0,35*
<i>Totale</i>	<i>0,63</i>	<i>0,65</i>

**di cui circa 0,05 immessi fittiziamente per esigenze di stabilità del modello*

In termini percentuali la differenza sui volumi risulta dell'ordine del 14% per il comparto acque medie e del 20% per quello delle acque basse. Bisogna tuttavia considerare che il comparto acque basse necessita, per motivi di stabilità del modello, di un apporto fittizio dell'ordine di circa 50 mila metri cubi. Considerando tale apporto nel bilancio, la differenza si riduce a circa il 7%. I valori sono compatibili con la tolleranza ammessa in base alle ipotesi di calcolo assunte e ai fattori di indeterminatezza descritti.

Nelle figure seguenti sono messi a confronto i livelli misurati e quelli ottenuti dalla simulazione per i comparti delle acque medie e delle acque basse.

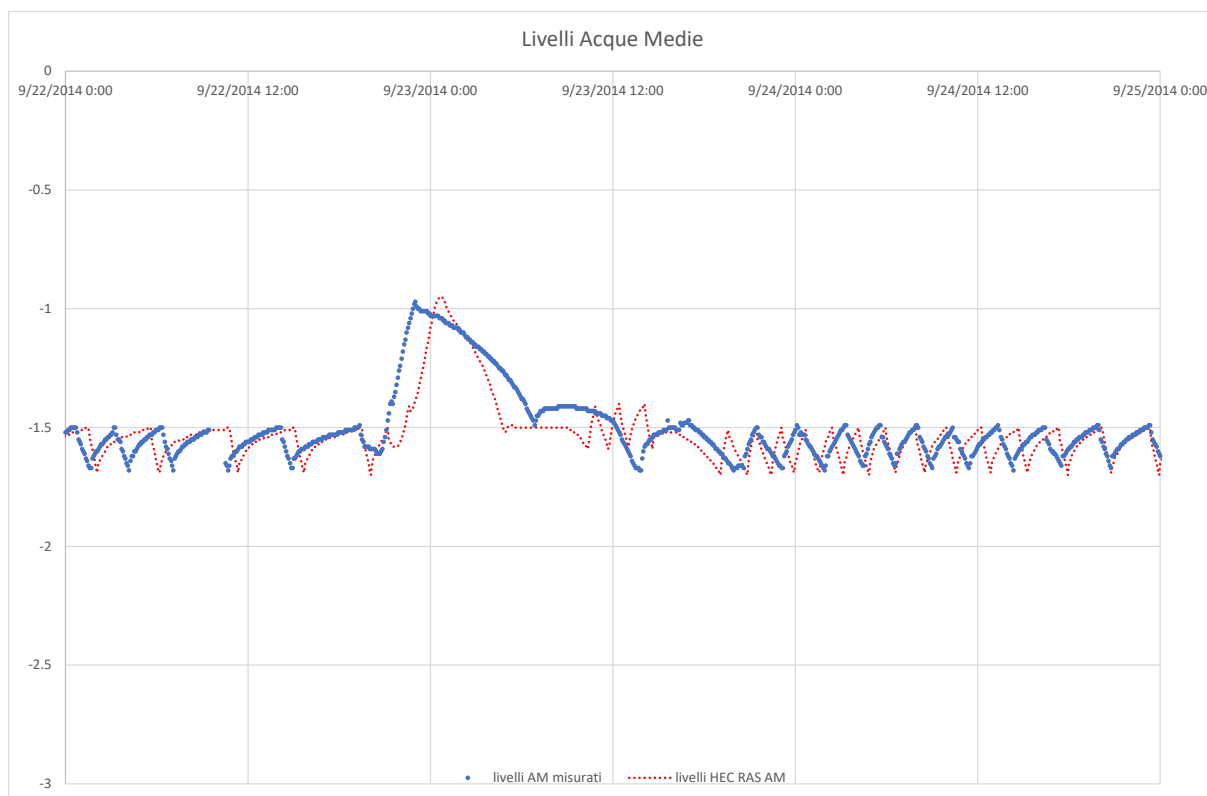


Figura 77. Confronto tra livelli misurati e livelli da simulazione sul mandracchio del comparto Acque Medie nel corso dell'evento 21-22/9.

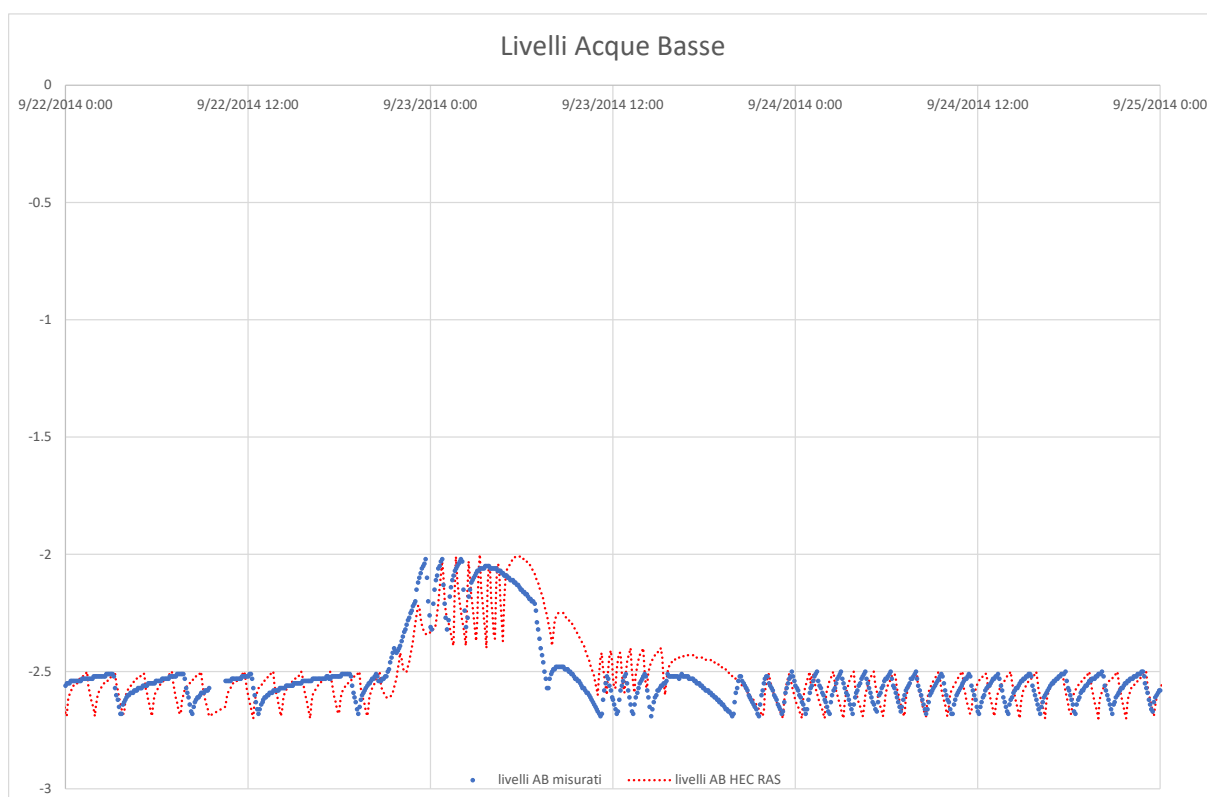


Figura 78. Confronto tra livelli misurati e livelli da simulazione sul mandracchio del comparto Acque Basse nel corso dell'evento 21-22/9.

3.4 Risultati della modellazione

La modellazione idraulica del bacino Cattal è stata eseguita per i tre scenari di studio definiti in premessa e descritti nella presente relazione, per le due condizioni idrologiche relative ai tempi di ritorno di 50 e 100 anni. Di seguito si riportano gli elementi di sintesi dei risultati ottenuti con il modello e alcuni utili confronti per valutare il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

3.4.1 Scenario 1 - pre-interventi

Nelle seguenti figure (Figura 79, Figura 80, Figura 81 e Figura 82) si riportano i profili di inviluppo dei massimi tiranti ottenuti per lo scenario 1, per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, rispettivamente lungo i collettori Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza del Pagliaghetta, e lungo il collettore Pagliaghetta e nel canale Acque Medie Cattal nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

Nelle successive Figura 83 e Figura 84 sono rappresentate le mappe dei tiranti di allagamento risultanti dal modello per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni rispettivamente, sempre per lo scenario 1.

Appare evidente, in particolare dalle mappe dei tiranti di allagamento, come il funzionamento in piena del bacino Cattal assuma un comportamento più tipico di un grande bacino d'invaso che non di una rete funzionante per deflusso. Se si guarda ad esempio il volume calcolato in ingresso nelle *2D Flow Area*, esso risulta di entità confrontabile, come ordine di grandezza, con il volume di pioggia affluita: per TR 50 anni, la pioggia affluita è pari a circa 3 milioni di metri cubi, mentre il volume in ingresso nelle *2D Flow Area* è di circa 1,8 milioni di metri cubi.

Il volume di massimo allagamento sull'intero bacino Cattal nello scenario 1 per TR 50 e 100 anni risulta rispettivamente pari a 0,65 e 0,96 milioni di metri cubi. Le superfici di allagamento complessive risultano di 263 e 368 ettari rispettivamente.

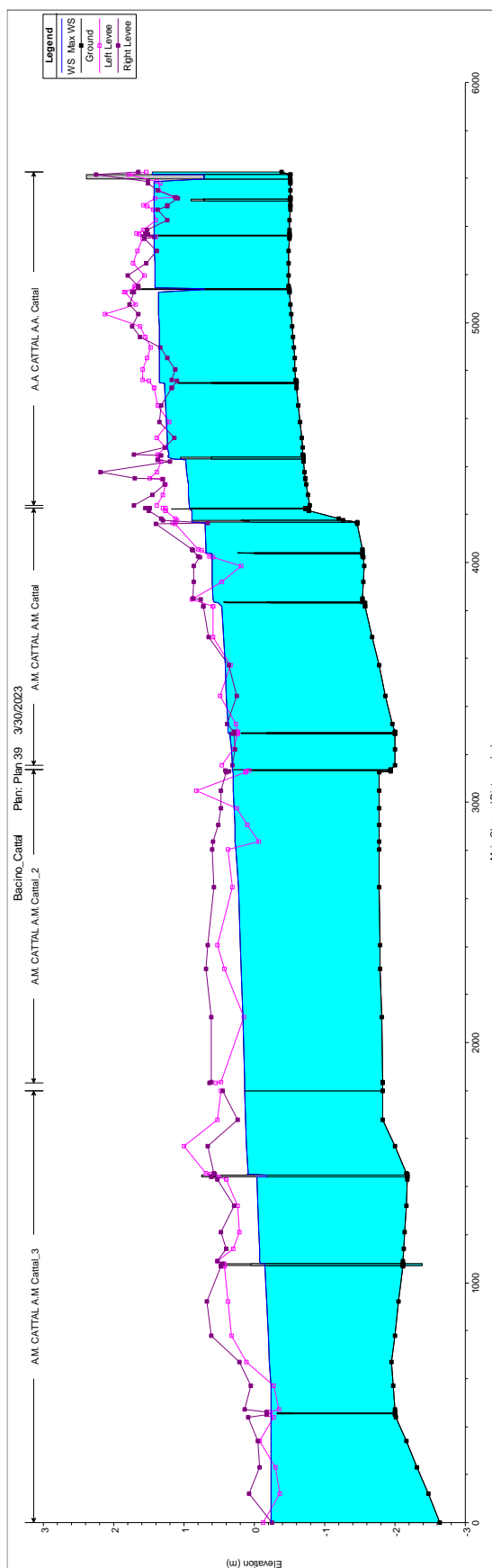


Figura 79. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 1 lungo i canali Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza con il collettore Pagliaghetta.

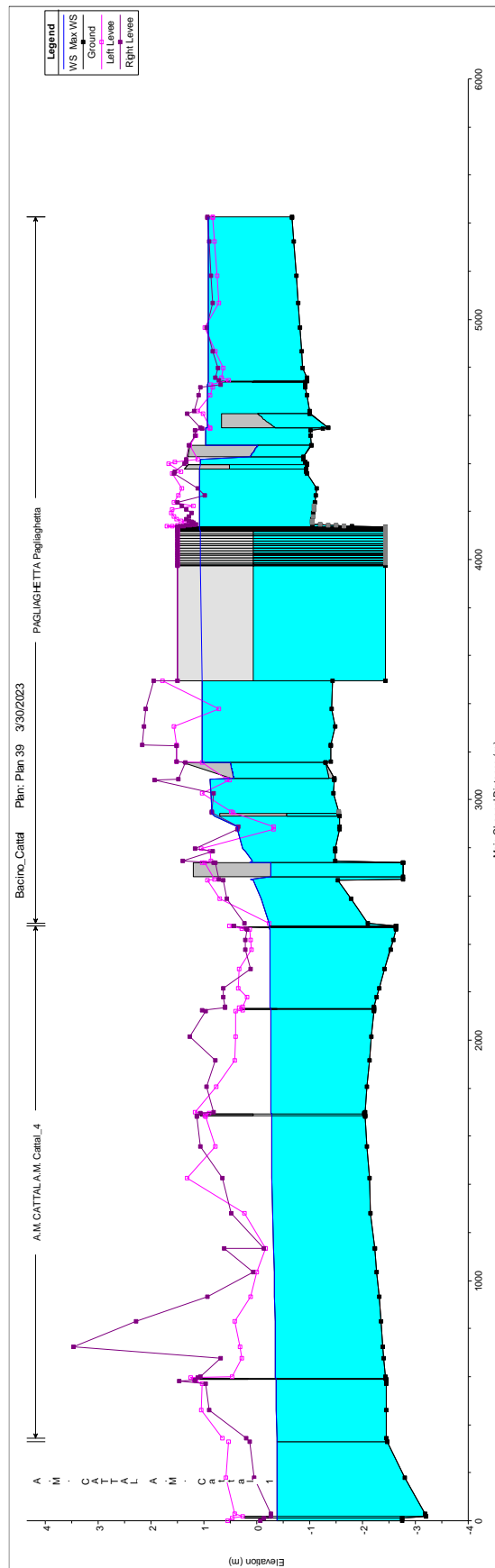


Figura 80. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 1 lungo il collettore Pagliaghetta e il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

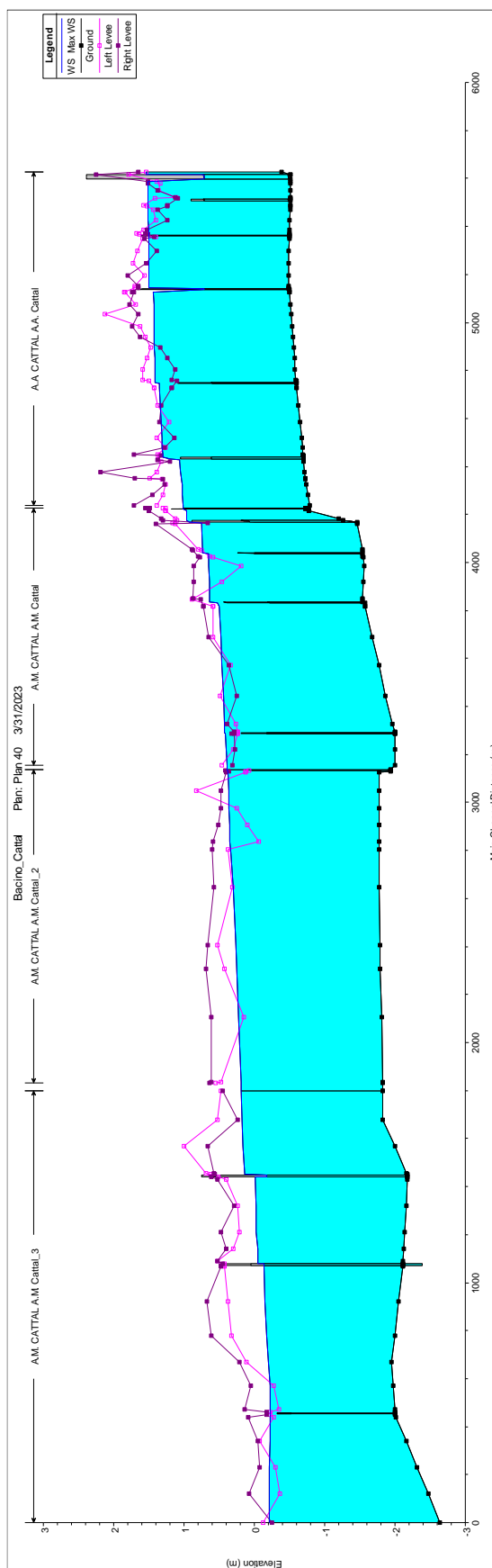


Figura 81. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 100 anni nello scenario 1 lungo i canali Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza con il collettore Pagliaghetta.

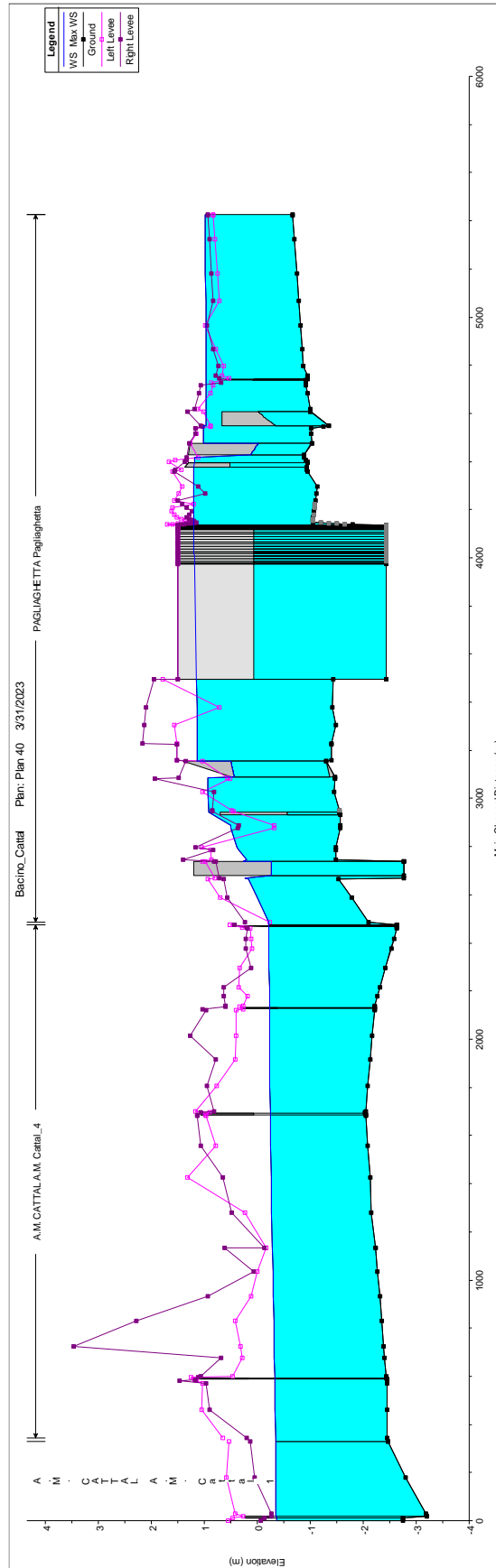


Figura 82. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 100 anni lungo il collettore Pagliaghetta e il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

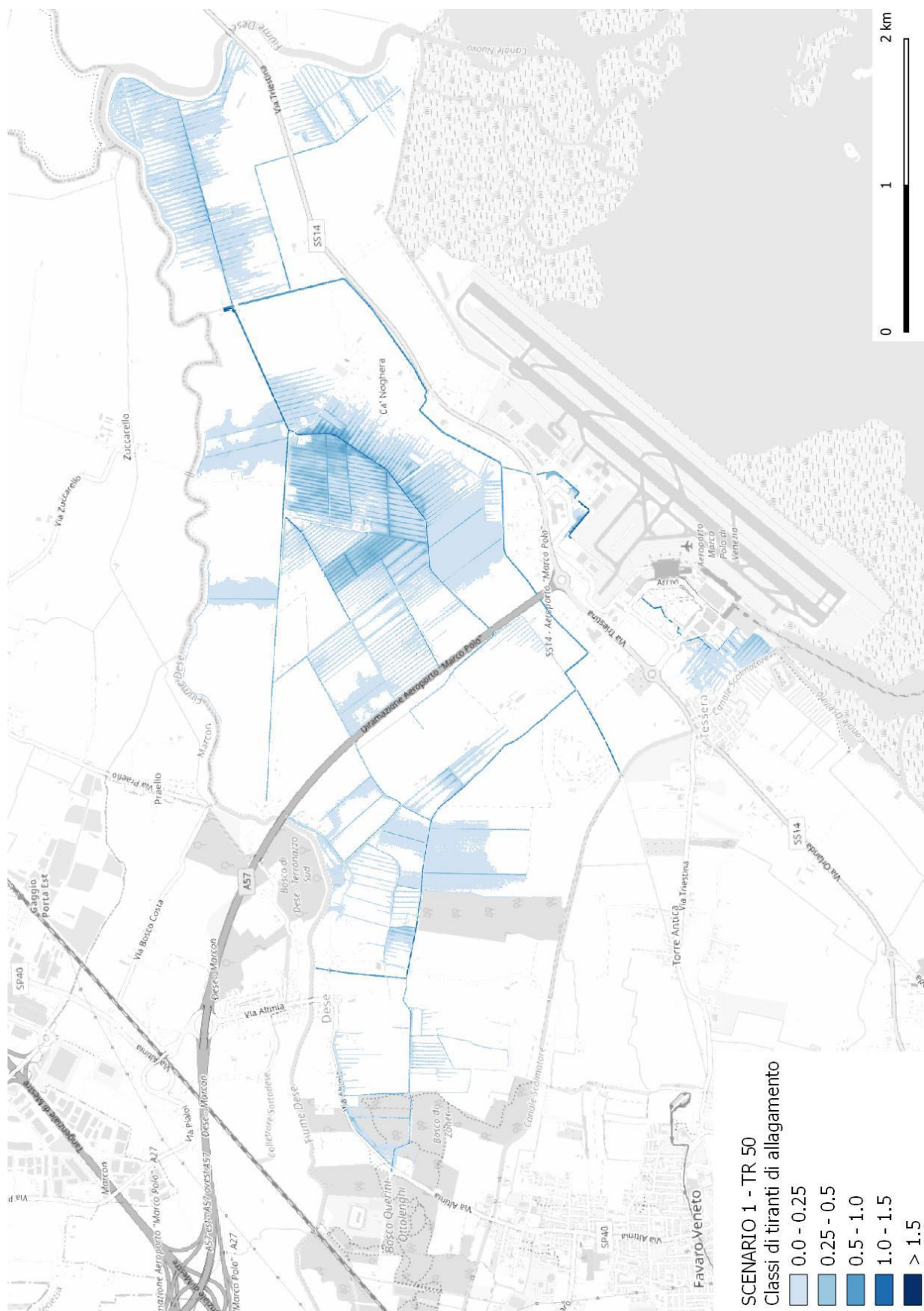


Figura 83. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=50 anni nello scenario 1.

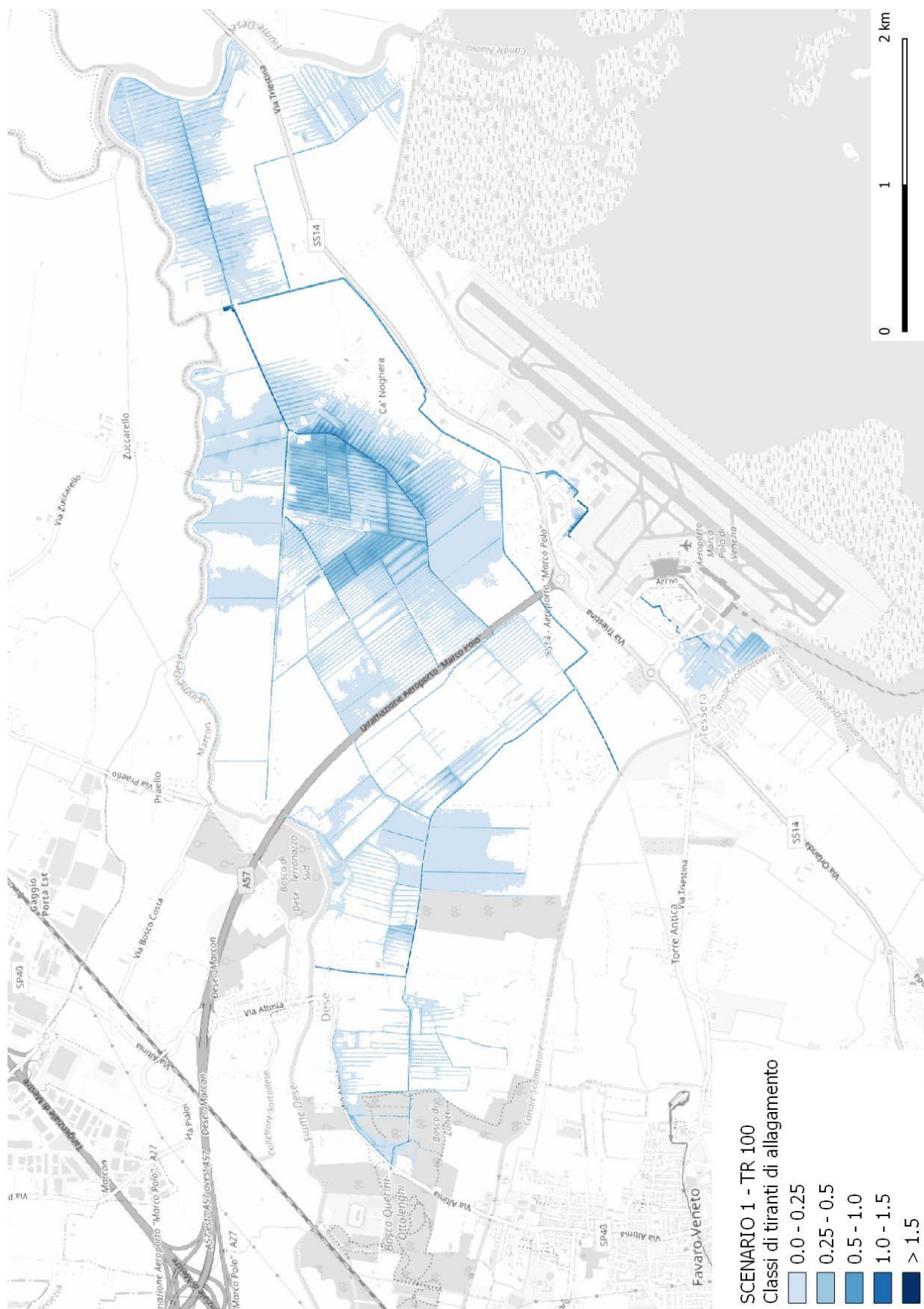


Figura 84. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=100 anni nello scenario 1.

3.4.2 Scenario 2 - 2037 solo cassa

Lo scenario 2 – 2037 solo cassa è stato analizzato per poter verificare l'efficacia della cassa di laminazione MP01, nonché delle opere idrauliche realizzate internamente al sedime, ai sensi della normativa sull'invarianza idraulica, al fine di ottemperare alla DGR 2948/2009 con riferimento a tutte le trasformazioni avvenute nel periodo 2015-2022 e previste dal nuovo masterplan 2022-2037. L'analisi pertanto si limita al tempo di ritorno di 50 anni, come indicato dalla norma.

In Figura 85 e Figura 86 si riportano i profili di inviluppo dei massimi tiranti ottenuti per lo scenario 2 per il tempo di ritorno di 50 anni, rispettivamente lungo i collettori Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza del Pagliaghetta, e lungo il collettore Pagliaghetta e nel canale Acque Medie Cattal nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

In Figura 87 è riportata la mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR 50 anni nello scenario 2. Risulta che il volume totale in ingresso nelle *2D Flow Area* passi da 1,8 milioni di metri cubi dello scenario 1 ad 1,1 milioni di metri cubi nello scenario 2, mentre il massimo volume di allagamento sul bacino Cattal si riduce a 0,49 milioni di metri cubi. La superficie di allagamento si riduce, rispetto allo scenario 1, da 263 a 216 ettari.

La Figura 88 riporta un confronto dei massimi tiranti su una sezione del bacino, ottenuta con lo strumento *Plot profile* di *QGis*, da cui risulta una riduzione del massimo tirante di allagamento di 9 cm.

In Figura 89 e Figura 90 si riporta un confronto dell'andamento nel tempo delle portate e dei livelli tra lo scenario 1 e lo scenario 2, per TR 50 anni, per due sezioni poste rispettivamente a monte e a valle della cassa sul collettore Acque Medie Cattal.

La modellazione nello scenario 2 - 2037 solo cassa per TR 50 anni evidenzia che l'effetto della sola cassa di laminazione, unitamente alle opere idrauliche attuate in sedime aeroportuale, è tale non solo da garantire l'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche avvenute in sedime nel periodo 2015-2022 e di quelle previste per il periodo 2023-2037, ma anche di migliorare le condizioni di sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal.

Si evidenziano infatti:

- un non incremento dei livelli massimi a monte e a valle della cassa sul Canale Acque Medie rispetto allo scenario 1;
- una riduzione della portata massima a valle della cassa sul Canale Acque Medie rispetto allo scenario 1;
- una riduzione del 38% dei volumi complessivamente immessi nelle *2D flow area* su tutto il bacino Cattal rispetto allo scenario 1 e una riduzione del 25% del massimo volume di allagamento;

- una riduzione del 18 % della superficie di allagamento;
- una riduzione dei tiranti di allagamento sulle superfici allagate rispetto allo scenario 1.

Si evidenzia inoltre che il riempimento della cassa nella simulazione è avvenuto fino alla quota di +0,1 m s.l.m. lasciando un franco di 40 cm rispetto alla quota arginale di +0,5 m s.l.m. Tale franco può essere sfruttato per migliorare ulteriormente la sicurezza idraulica del bacino Cattal.

A ulteriore riprova dell'efficacia della cassa è stato simulato lo scenario 2 ipotizzando il riempimento della cassa a gravità senza attivazione delle pompe e chiusura della paratoia all'imbocco della cassa quando i livelli nel canale Acque Medie e nella cassa si eguagliano (Figura 91). Anche in questo scenario si osserva sostanzialmente una invarianza dei livelli e delle portate lungo il canale Acque Medie Cattal a valle dell'opera, nonché una riduzione del volume in ingresso alle aree 2D da 1,8 a 1,2 milioni di metri cubi e una riduzione del massimo volume di allagamento da 0,65 a 0,53 milioni di metri cubi.

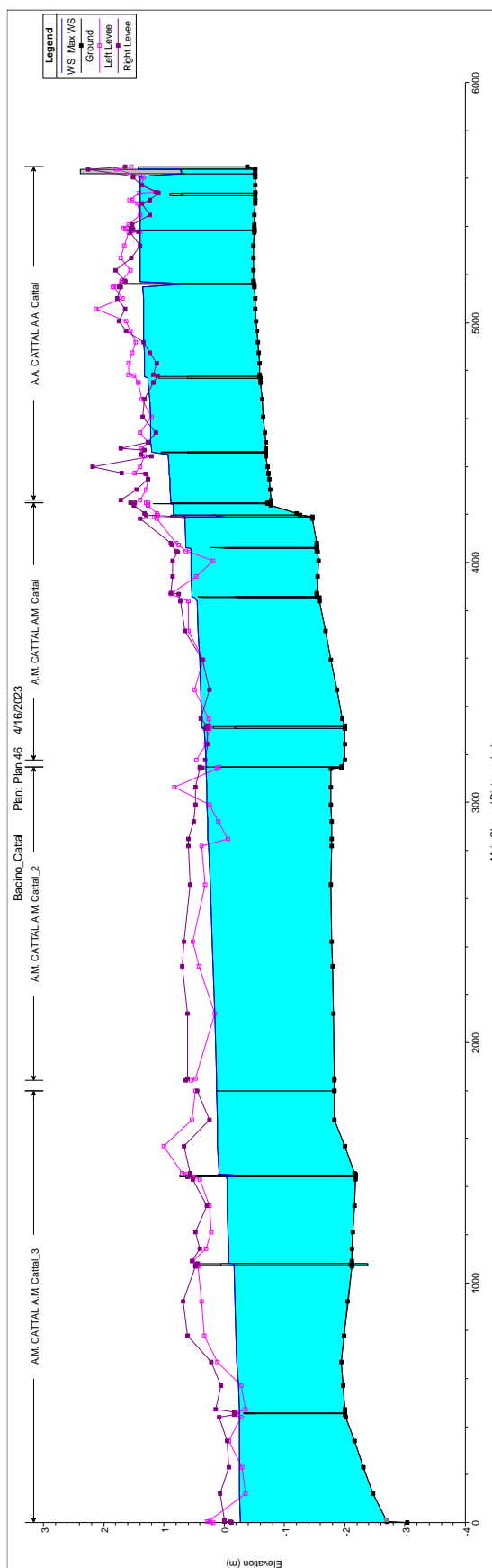


Figura 85. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 2 lungo i canali Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza con il collettore Pagliaghetta.

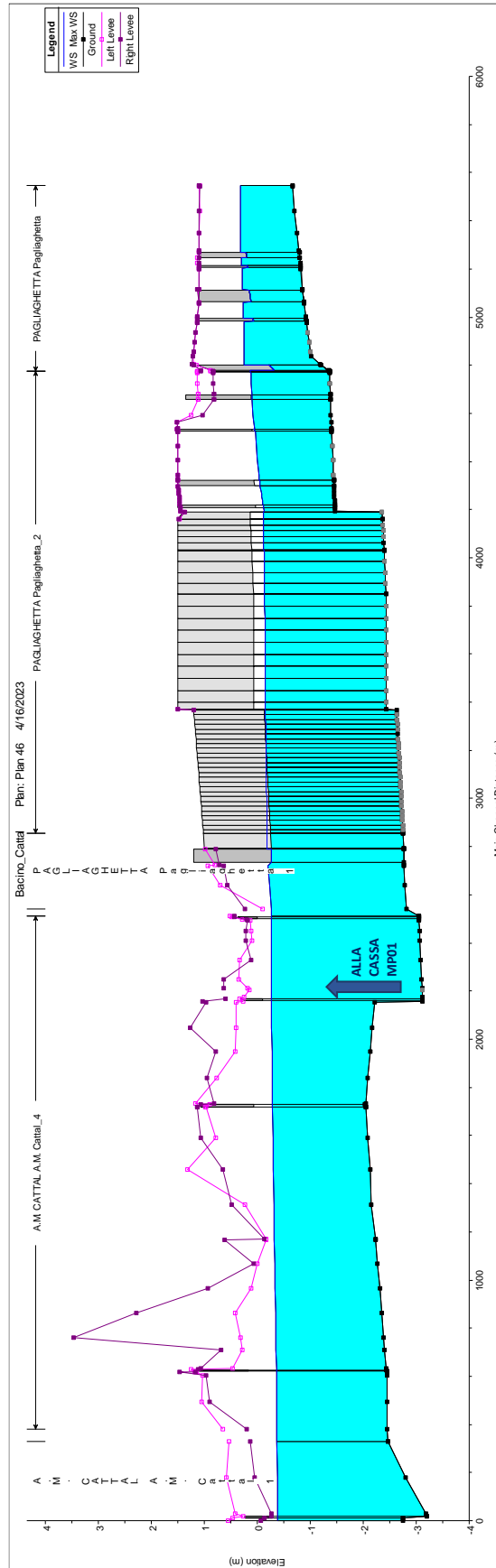


Figura 86. Profilo di iniluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 2 lungo il collettore Pagliaghetta e il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

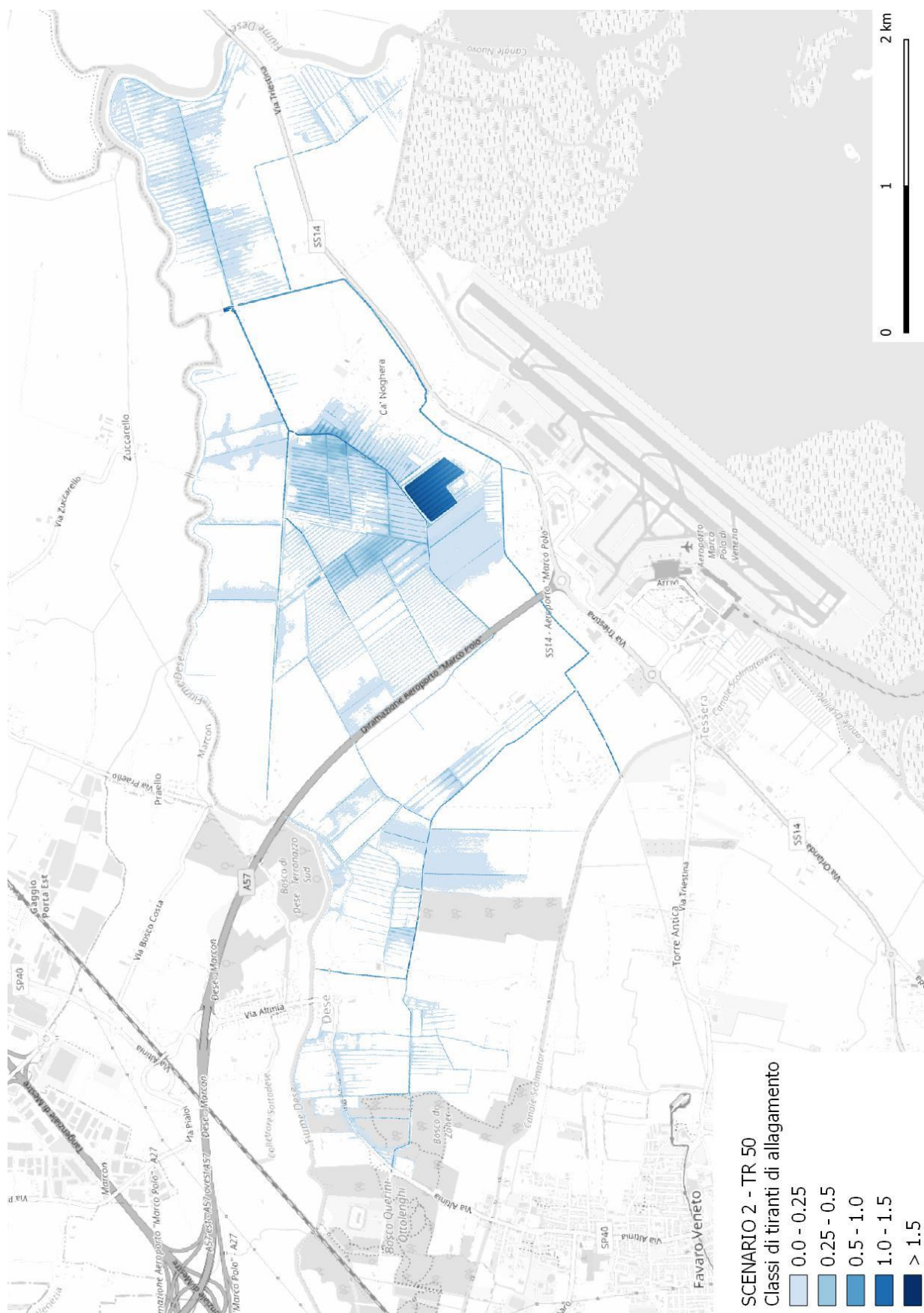


Figura 87. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=50 anni nello scenario 2.

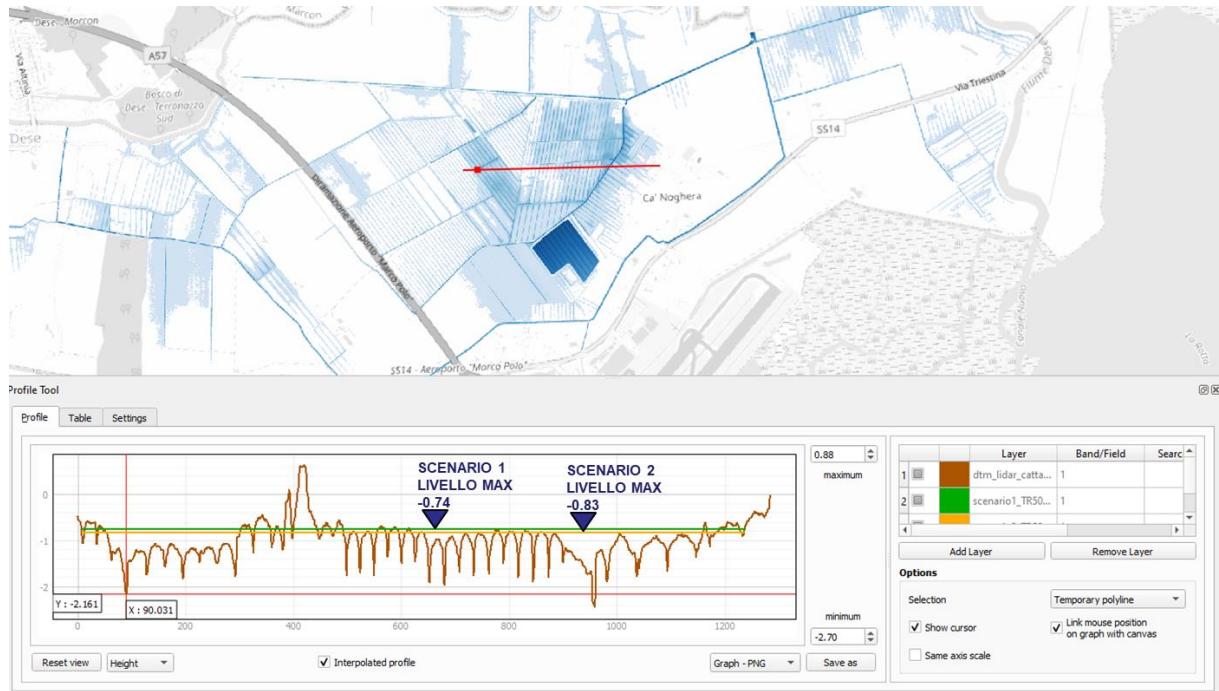


Figura 88. Confronto dei massimi tiranti di allagamento per TR 50 anni tra gli scenari 1 e 2.

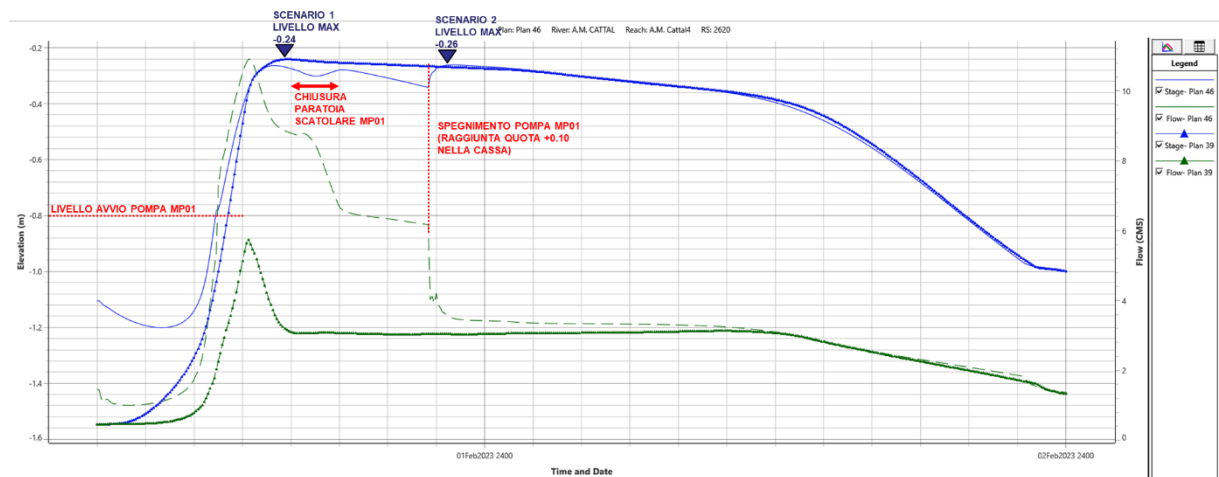


Figura 89. Confronto di portate e livelli per TR 50 anni tra lo scenario 1 (Plan 39) e lo scenario 2 (Plan 46) alla sezione 2620 A.M. Cattal, alla confluenza del Pagliaghetta.

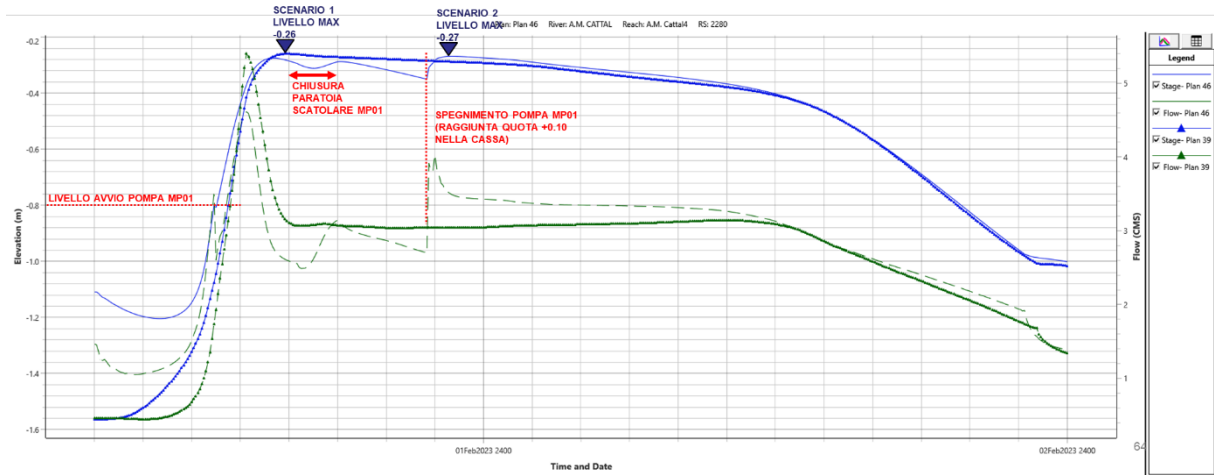


Figura 90. Confronto di portate e livelli per TR 50 anni tra lo scenario 1 (Plan 39) e lo scenario 2 (Plan 46) alla sezione 2280 A.M. Cattal, immediatamente a valle della cassa.

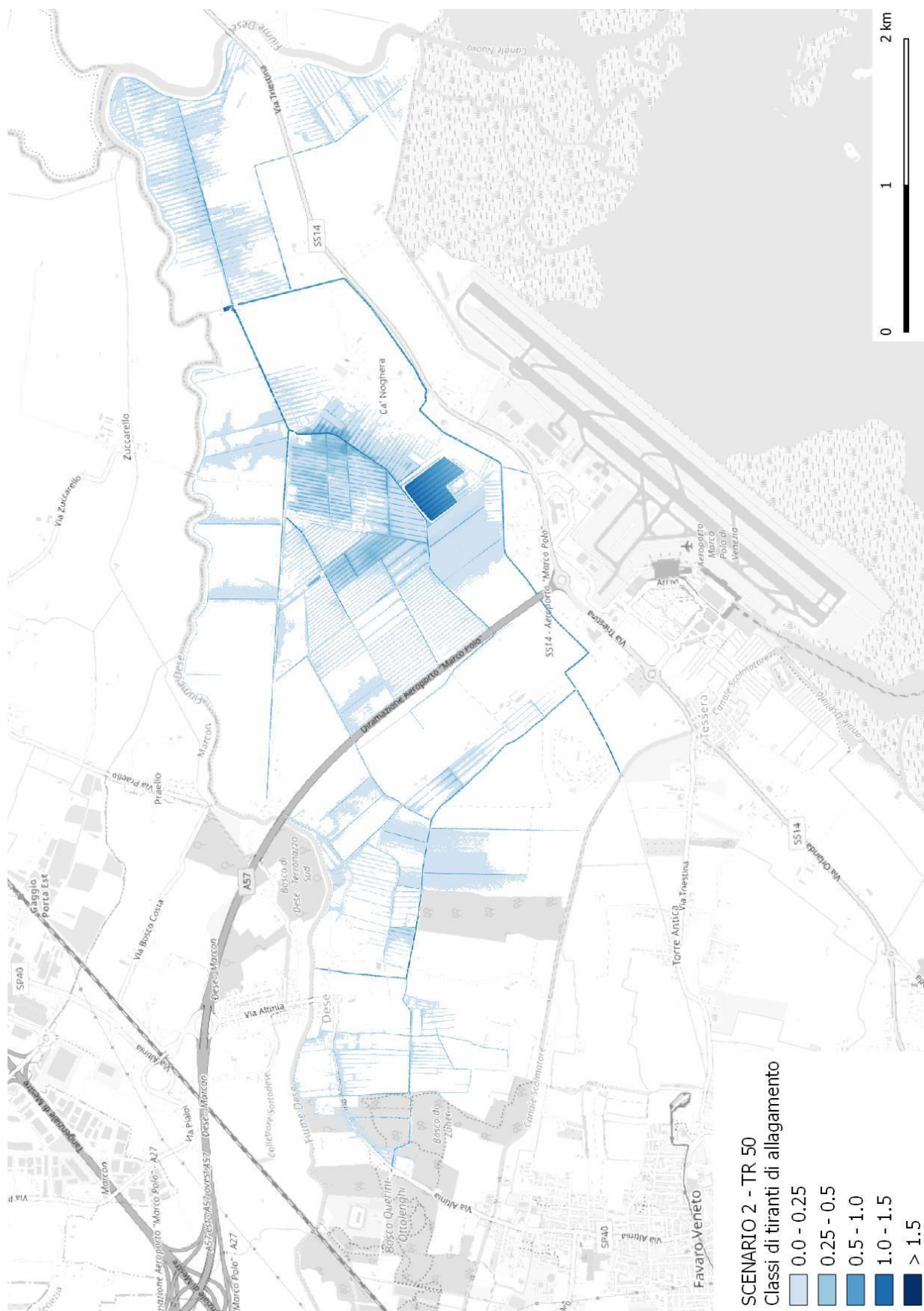


Figura 91. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=50 anni nello scenario 2 nell'ipotesi di riempire la cassa solo a gravità senza attivazione delle pompe.

3.4.3 Scenario 3 - 2037 con idrovora

Lo scenario 3 – 2037 con idrovora vede l'implementazione di tutte le opere idrauliche attuate e previste in attuazione entro il 2037 senza l'attivazione dell'impianto di pompaggio all'imbocco della cassa di laminazione MP01. Tale scenario è stato analizzato per poter verificare la sicurezza idraulica del bacino Cattal a seguito della realizzazione delle opere idrauliche e delle trasformazioni urbanistiche in ambito aeroportuale.

In Figura 92, Figura 93 e Figura 94 si riportano i profili di inviluppo dei massimi tiranti ottenuti per lo scenario 3, per il tempo di ritorno di 50 anni, rispettivamente lungo i collettori Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza del Pagliaghetta, lungo il collettore Pagliaghetta e nel canale Acque Medie Cattal nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal e fino alla nuova idrovora consortile.

Nella successiva Figura 95 è rappresentata la mappa dei massimi tiranti di allagamento risultanti dal modello per tempo di ritorno di 50 anni per lo scenario 3.

Risulta che il volume totale in ingresso nelle *2D Flow Area* passi da 1,8 milioni di metri cubi dello scenario 1 a 0,4 milioni di metri cubi nello scenario 3, mentre il massimo volume di allagamento sul bacino Cattal si riduce a 0,22 milioni di metri cubi.

La Figura 96 riporta un confronto dei massimi tiranti su una sezione del bacino tra i tre scenari per tempo di ritorno 50 anni, ottenuta con lo strumento *Plot profile* di *QGis*, da cui risulta, nello scenario 3, una riduzione del massimo tirante di allagamento di 40 cm rispetto allo scenario 1 e di 31 cm rispetto allo scenario 2.

In Figura 97 e Figura 98 si riporta un confronto dell'andamento nel tempo delle portate e dei livelli tra lo scenario 1 e lo scenario 3, per TR 50 anni, per due sezioni poste rispettivamente a monte e a valle della cassa sul collettore Acque Medie Cattal.

La modellazione nello scenario 3 - 2037 con idrovora per TR 50 anni evidenzia un significativo miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal.

Si osserva infatti, a fronte di un incremento di portata sul collettore Acque Medie Cattal, fino al collegamento alla nuova idrovora, un consistente abbassamento dei massimi livelli, rispetto allo scenario 1.

Si ha inoltre una riduzione di oltre il 75% dei volumi complessivamente immessi nelle *2D flow area* su tutto il bacino Cattal rispetto allo scenario 1 e una riduzione del 65% del massimo volume di allagamento rispetto allo scenario 1.

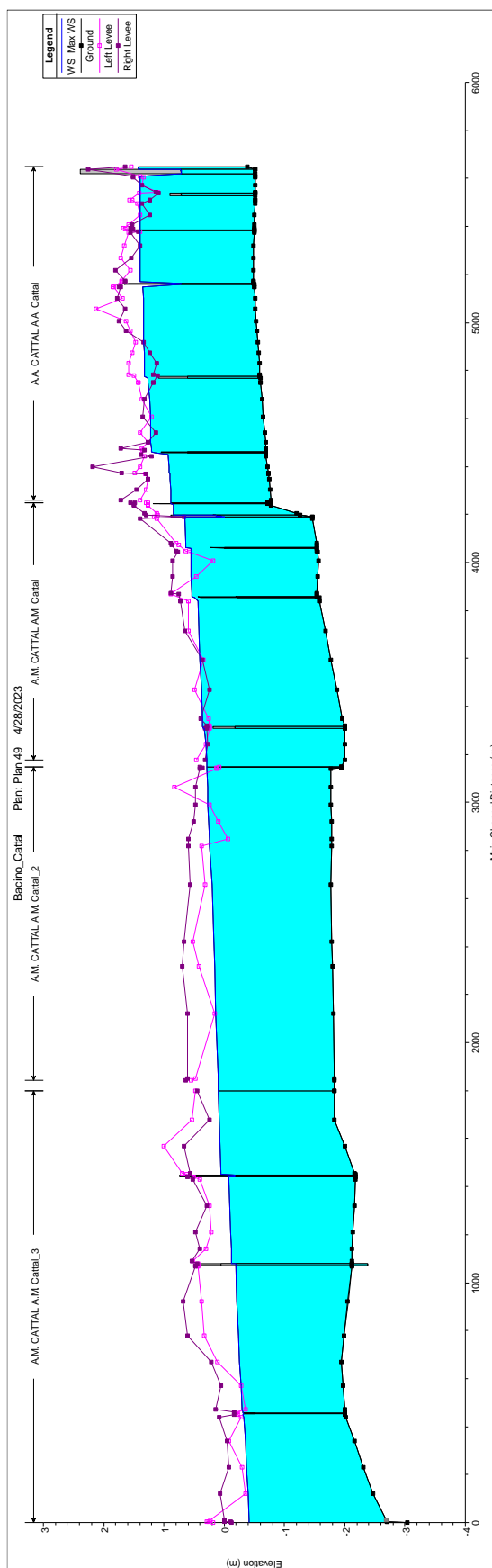


Figura 92. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 3 lungo i canali Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza con il collettore Pagliaghetta.

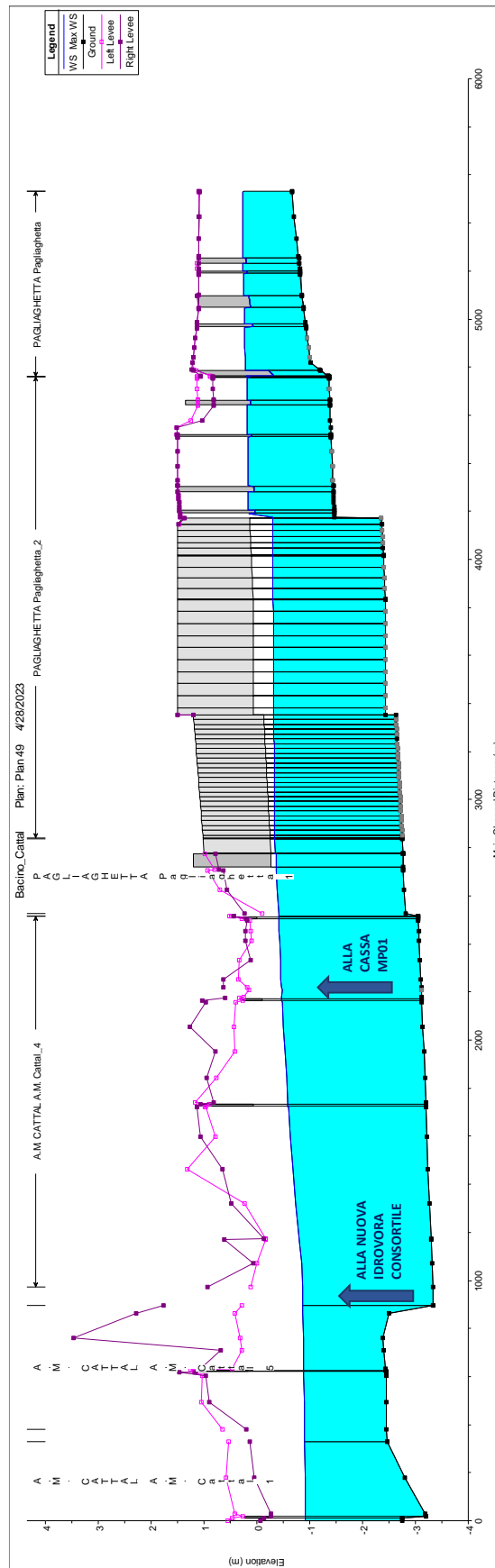


Figura 93. Profilo di iniluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 3 lungo il collettore Pagliaghetta e il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

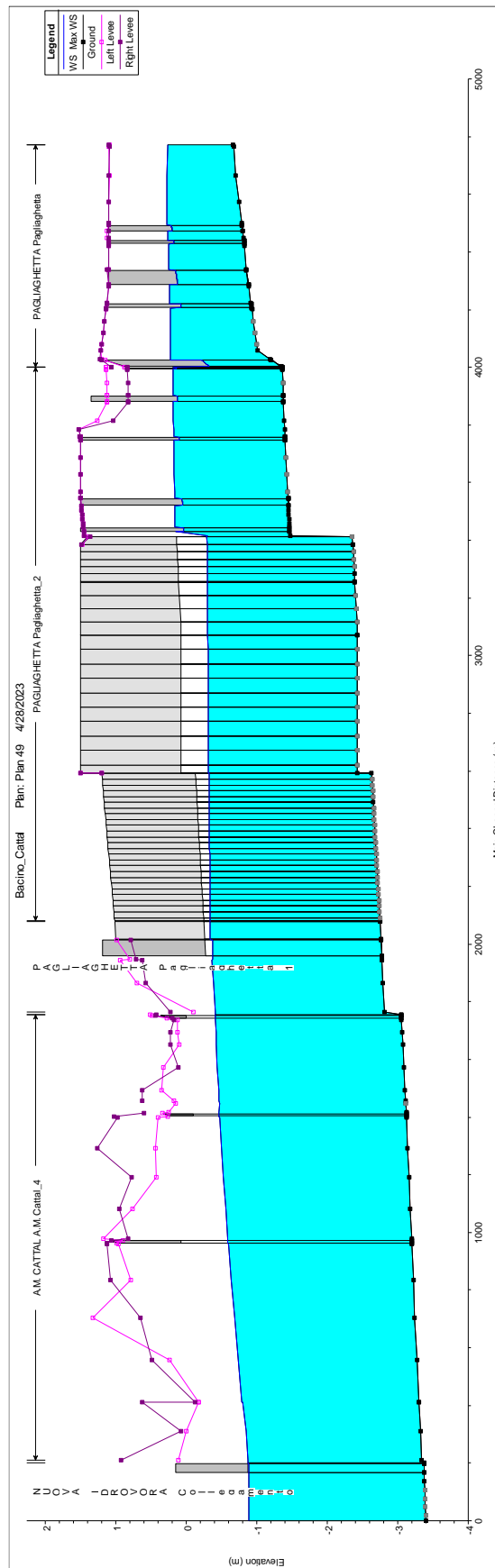


Figura 94. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 50 anni nello scenario 3 lungo il collettore Pagliaghetta, il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, e il collegamento alla nuova idrovora consortile.

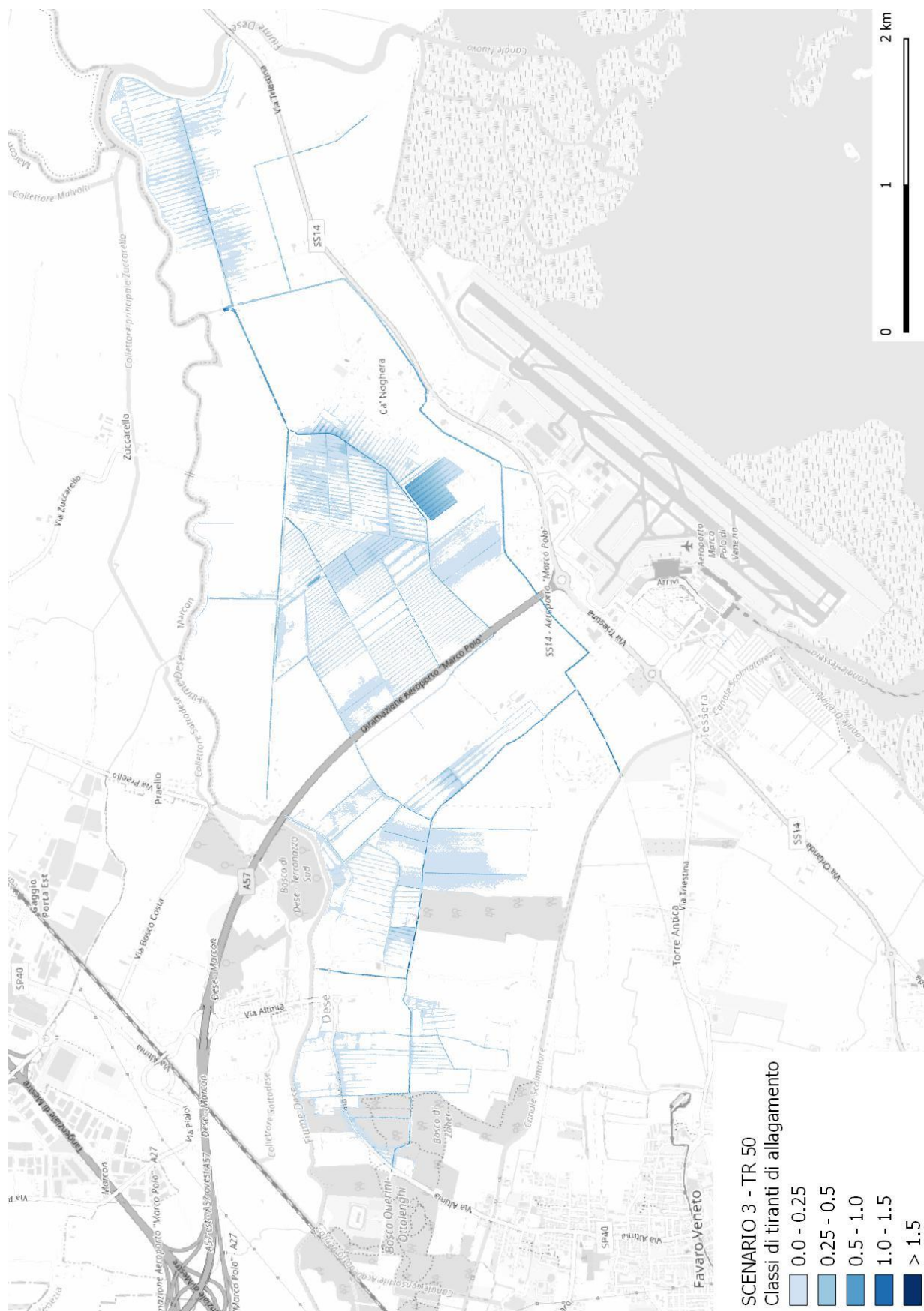


Figura 95. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=50 anni nello scenario 3.

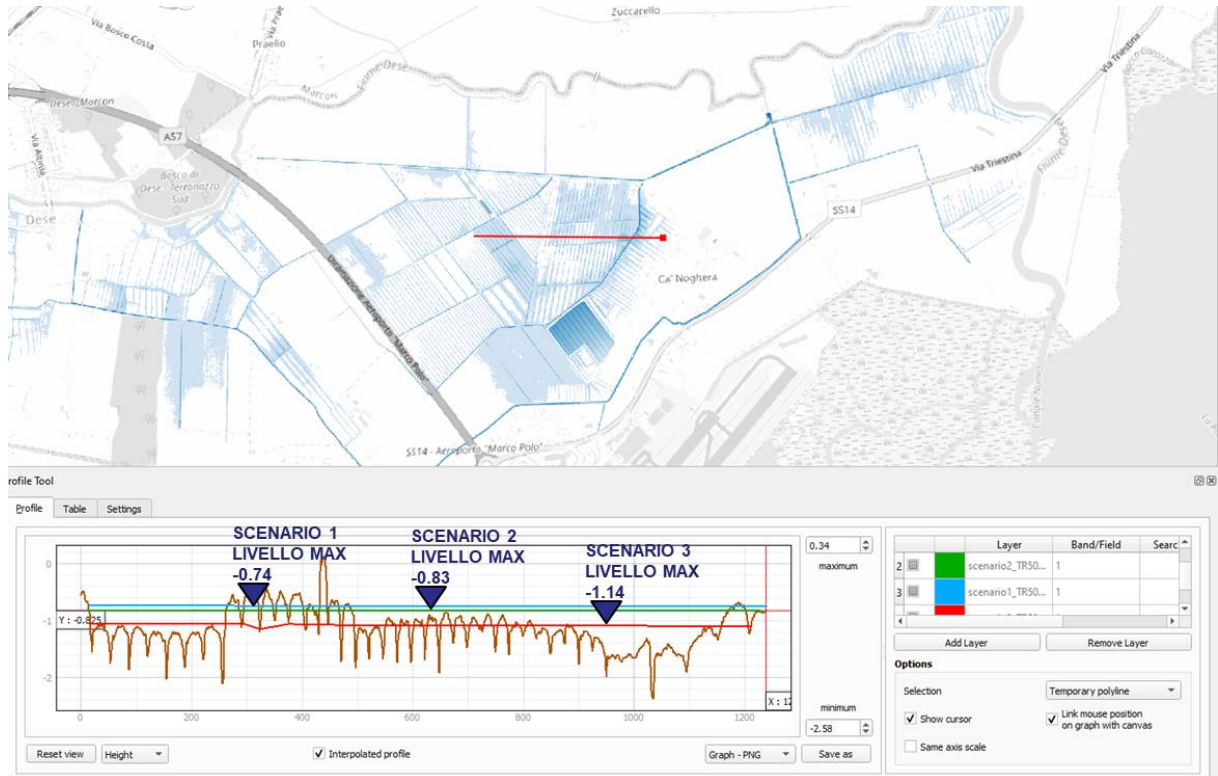


Figura 96. Confronto dei massimi tiranti di allagamento per TR 50 anni tra gli scenari 1, 2 e 3.

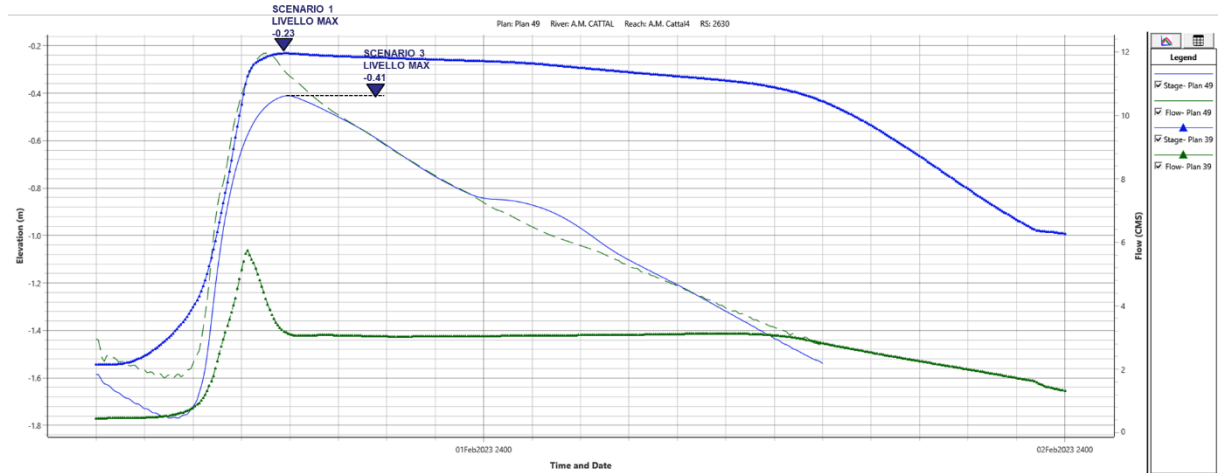


Figura 97. Confronto di portate e livelli per TR 50 anni tra lo scenario 1 (Plan 39) e lo scenario 3 (Plan 49) alla sezione 2620 A.M. Cattal, alla confluenza del Pagliaghetta.

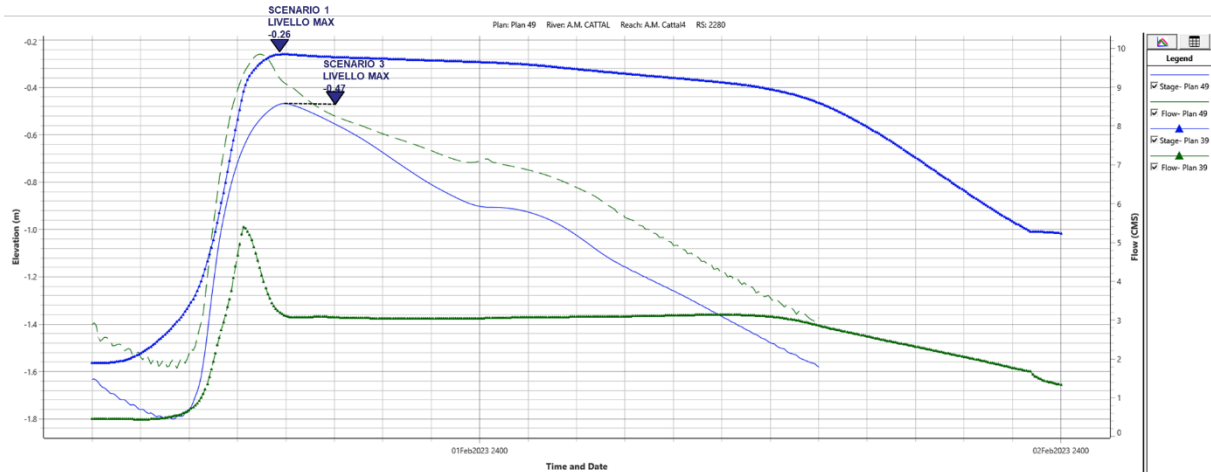


Figura 98. Confronto di portate e livelli per TR 50 anni tra lo scenario 1 (Plan 39) e lo scenario 3 (Plan 49) alla sezione 2280 A.M. Cattal, immediatamente a valle della cassa.

Per quanto riguarda l'analisi per TR 100 anni in Figura 99, Figura 100 e Figura 101 si riportano i profili di inviluppo dei massimi tiranti ottenuti per lo scenario 3, rispettivamente lungo i collettori Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza del Pagliaghetta, lungo il collettore Pagliaghetta e nel canale Acque Medie Cattal nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal e fino alla nuova idrovora consortile.

Nella successiva Figura 102 è rappresentata la mappa dei massimi tiranti di allagamento risultanti dal modello per tempo di ritorno di 50 anni per lo scenario 3.

Il massimo volume di allagamento sul bacino Cattal si riduce da 0,96 milioni di metri cubi dello scenario 1 a 0,41 milioni di metri cubi nello scenario 3.

In Figura 103 e Figura 104 si riporta un confronto dell'andamento nel tempo delle portate e dei livelli tra lo scenario 1 e lo scenario 3, per TR 100 anni, per due sezioni poste rispettivamente a monte e a valle della cassa sul collettore Acque Medie Cattal.

La modellazione nello scenario 3 - 2037 con idrovora per TR 100 anni evidenzia un significativo miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal.

Si osserva infatti, a fronte di un incremento di portata sul collettore Acque Medie Cattal, fino al collegamento alla nuova idrovora, un consistente abbassamento dei massimi livelli, rispetto allo scenario 1.

Si ha inoltre una riduzione di oltre il 55% del massimo volume di allagamento rispetto allo scenario 1 mentre la superficie allagata passa da 368 a 209 ettari.

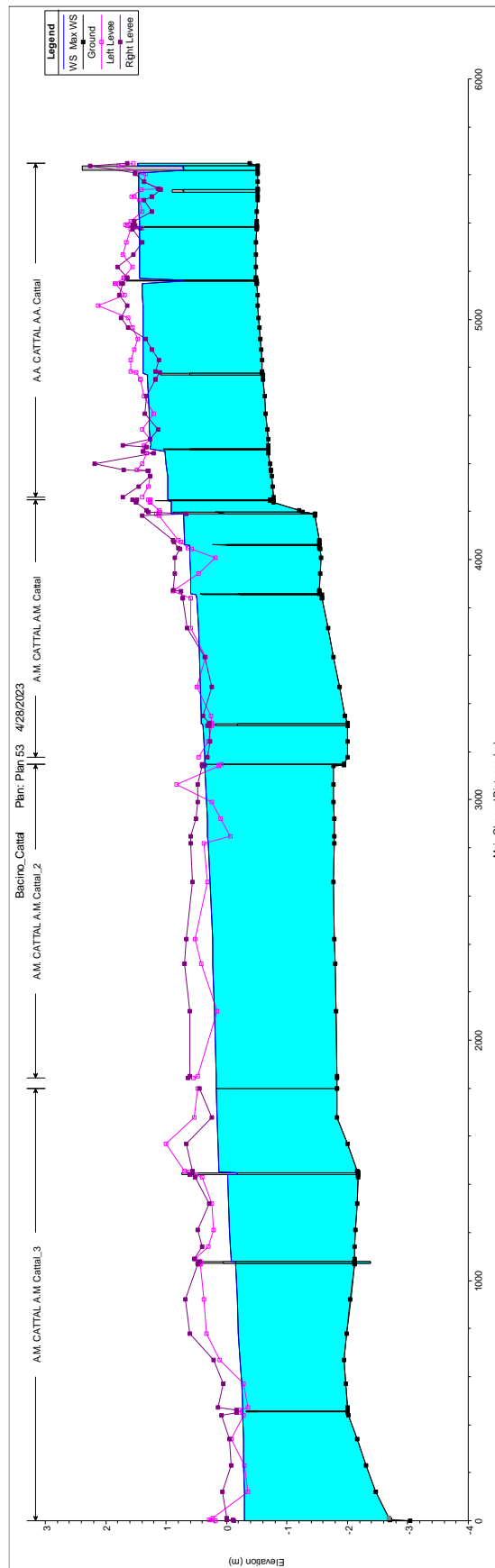


Figura 99. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 100 anni nello scenario 3 lungo i canali Acque Alte Cattal e Acque Medie Cattal fino alla confluenza con il collettore Pagliaghetta.

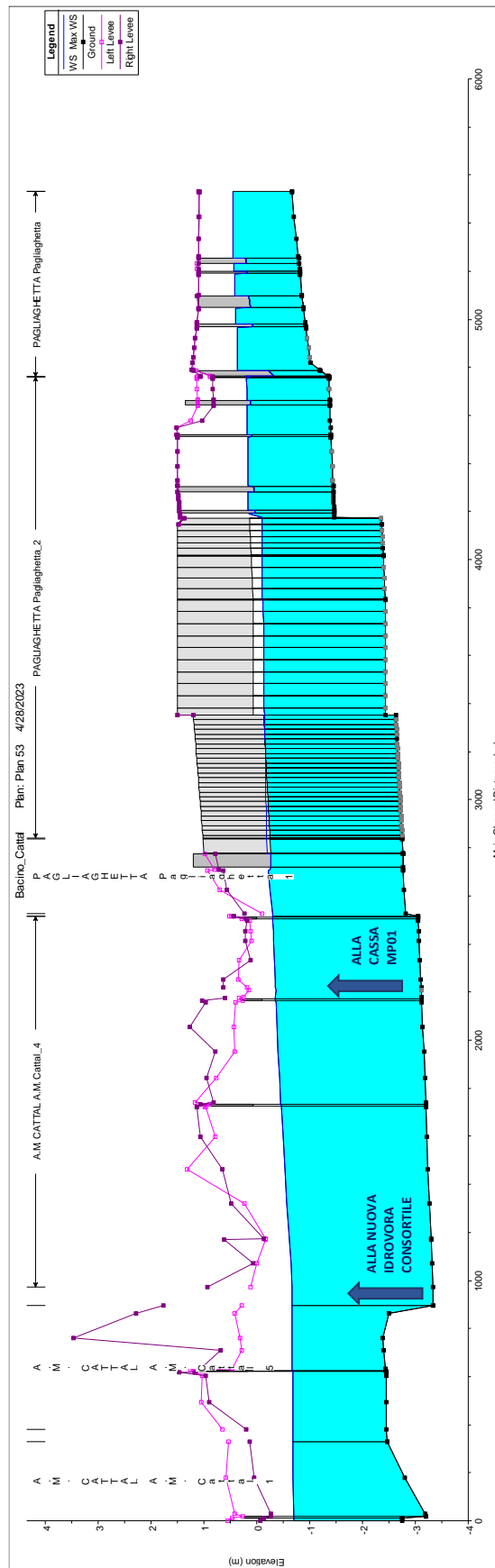


Figura 100. Profilo di involuppo dei massimi tiranti idrici per TR 100 anni nello scenario 3 lungo il collettore Pagliaghetta e il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, fino all'impianto idrovoro Cattal.

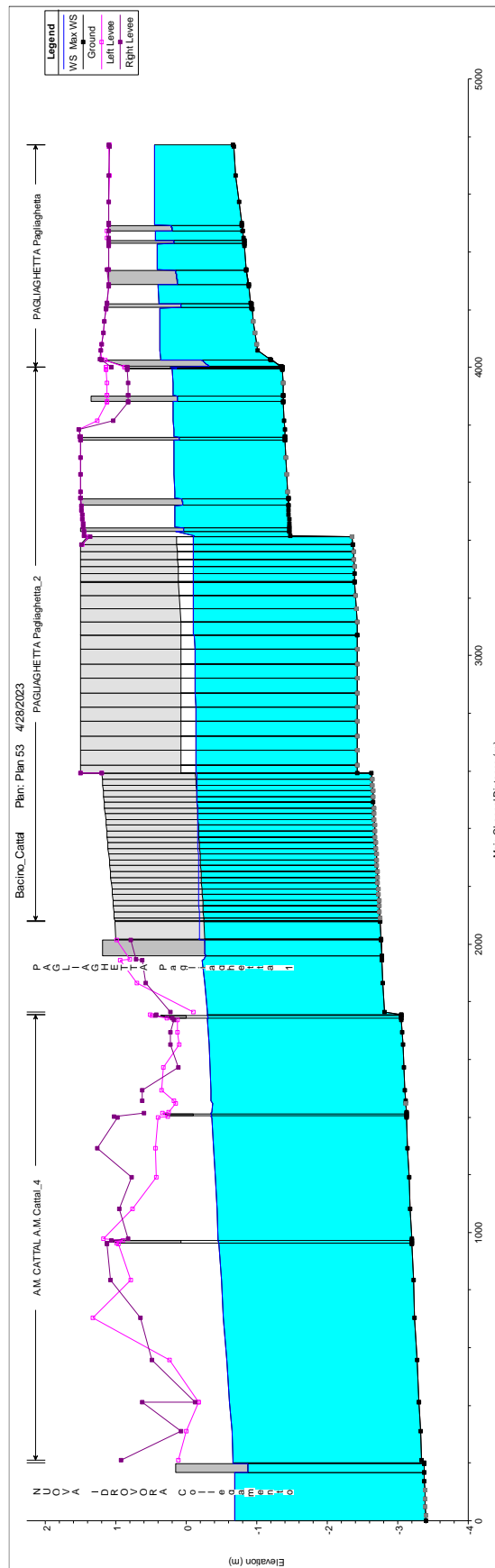


Figura 101. Profilo di inviluppo dei massimi tiranti idrici per TR 100 anni nello scenario 3 lungo il collettore Pagliaghetta, il collettore Acque Medie Cattal, nel tratto a valle della confluenza del Pagliaghetta, e il collegamento alla nuova idrovora consortile.

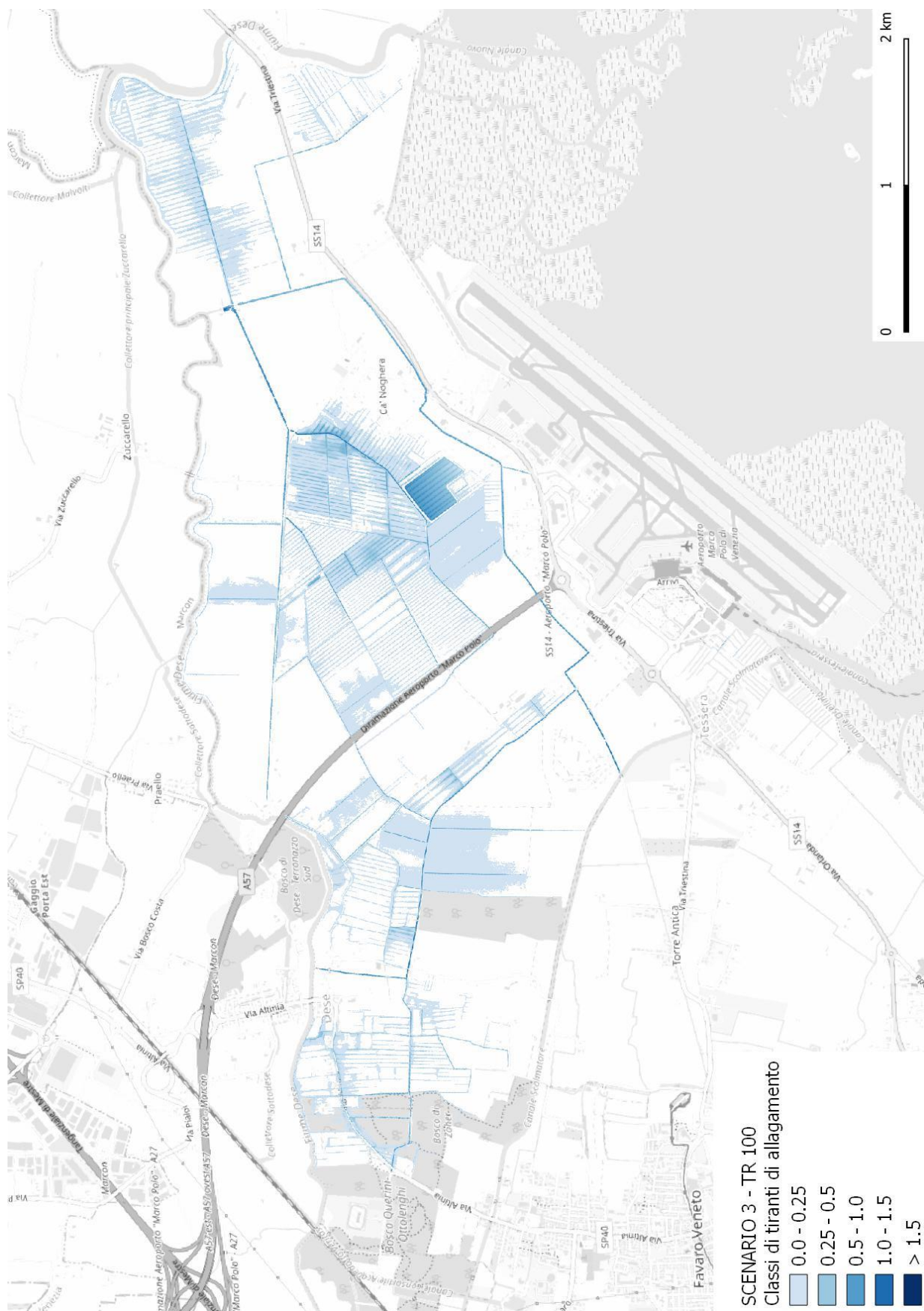


Figura 102. Mappa dei massimi tiranti di allagamento per TR=100 anni nello scenario 3.

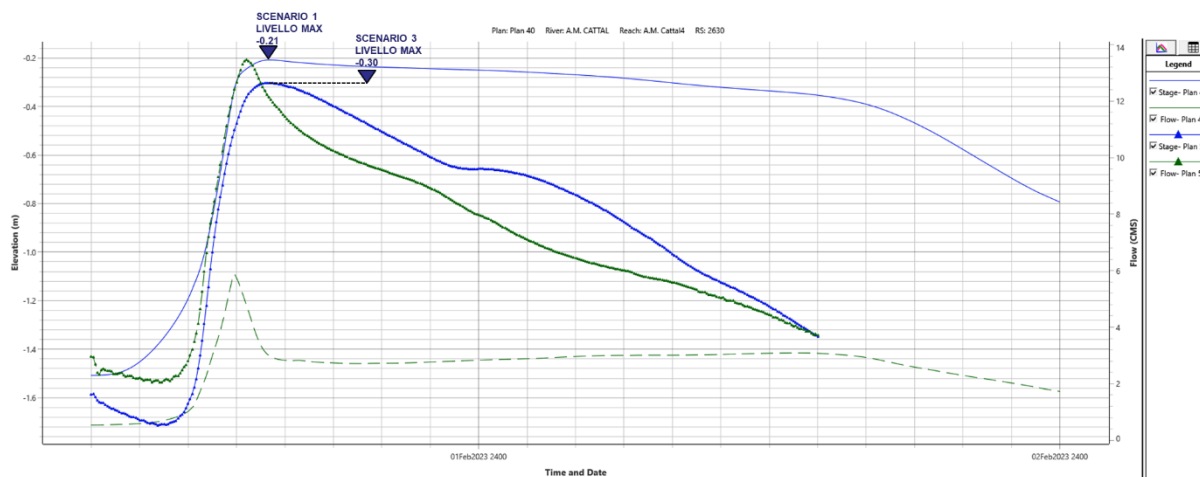


Figura 103. Confronto di portate e livelli per TR 100 anni tra lo scenario 1 (Plan 40) e lo scenario 3 (Plan 53) alla sezione 2620 A.M. Cattal, alla confluenza del Pagliaghetta.

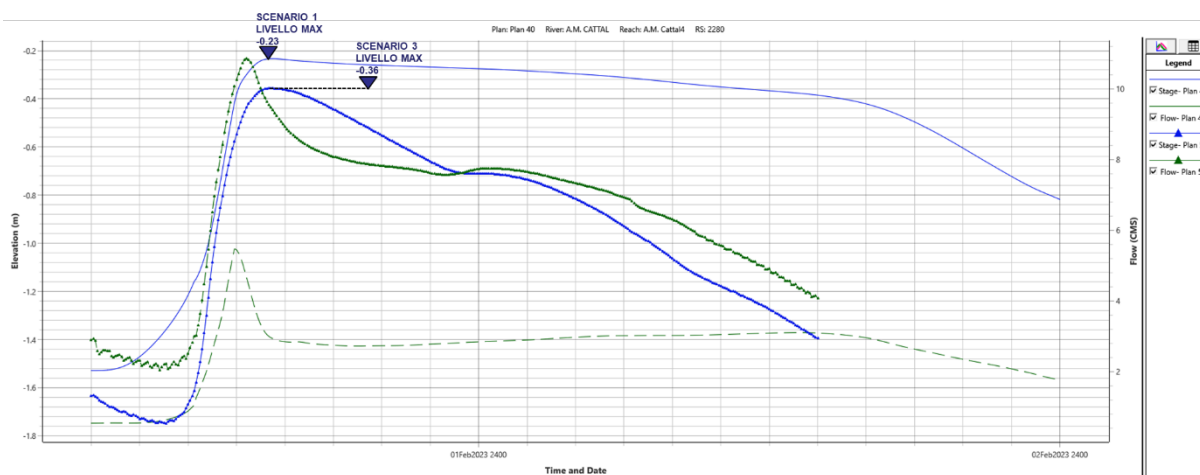


Figura 104. Confronto di portate e livelli per TR 100 anni tra lo scenario 1 (Plan 40) e lo scenario 3 (Plan 53) alla sezione 2280 A.M. Cattal, immediatamente a valle della cassa.

4. CONCLUSIONI

Il presente studio costituisce attività complementare alla redazione del nuovo Masterplan 2037 e rappresenta un aggiornamento di precedenti studi idraulici del bacino di bonifica Cattal, risalenti agli anni 2015-2016 realizzati ad integrazione del precedente Masterplan 2021 a supporto della progettazione di una serie di interventi idraulici previsti da tale strumento di pianificazione e da realizzarsi in ambito aeroportuale nonché all'interno del bacino di bonifica.

SAVE SpA al fine di ottemperare al principio di invarianza idraulica come sancito dalla DGR 2948/2009 e migliorare le condizioni di sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal, con un investimento di oltre 7 milioni di euro ha realizzato gli interventi MP02 fase 1 (risezionamento Pagliaghetta e A.M. Cattal) ed MP01 (cassa di laminazione), oltre ad aver contribuito per quasi 2 milioni di euro al budget per la realizzazione della nuova idrovora consortile.

Nel corso degli ultimi anni ulteriori ingenti risorse sono state dedicate al potenziamento dei sistemi idraulici interni al sedime e afferenti al bacino del collettore Pagliaghetta (MP03 Scatolare Pagliaghetta, MP04 Deviazione Pagliaghetta, MP05 Scolmatore Pagliaghetta fase 1, Doppia canna) creando un sensibile incremento dei volumi di invaso di rete utili a calmierare i picchi di piena che si realizzano nel corso di eventi meteorici intensi.

L'efficacia di tutte le sopracitate opere è ancora più determinante in ragione del particolare funzionamento del bacino Cattal i cui collettori in piena presentano un comportamento più tipico di un grande bacino d'invaso che non di una rete funzionante per deflusso.

Ammessa pertanto l'efficacia delle opere realizzate e in corso di realizzazione, se ne è voluto quantificare l'effetto mediante l'implementazione di un modello idrologico-idraulico accoppiato 1D-2D in grado di porre a confronto lo scenario (sia idrologico che idraulico) della configurazione pre-interventi con quello di sviluppo al 2037, con una duplice finalità:

1. Verificare la compatibilità idraulica delle trasformazioni previste dal nuovo Masterplan 2037, ai sensi della DGR 2948/2009, per effetto delle nuove opere idrauliche programmate e di quelle realizzate tra il 2015 e il 2022 o in corso di realizzazione, al fine di semplificare l'iter autorizzativo dei futuri interventi previsti fino al 2037;
2. Verificare le condizioni di sicurezza idraulica non solo del sedime aeroportuale, ma dell'intero comparto di bonifica, a seguito delle trasformazioni attuate a partire dal 2015 e di quelle programmate dal nuovo Masterplan, per effetto delle nuove opere idrauliche programmate, di quelle già realizzate tra il 2015 e il 2022 e di quelle in corso di realizzazione.

Ammessi i limiti dei risultati di un'analisi basata su di una modellazione idrologico-idraulica, che presenta un certo grado di incertezza legato ai dati della calibrazione (come descritto nel capitolo dedicato), ai dati morfologici (il rilievo LiDAR è del 2008) e geometrici della rete (rilievo del 2015),

anche solo una interpretazione qualitativa degli stessi conduce a conclusioni assolutamente confortanti. Se infatti l'obiettivo era di verificare il non peggioramento delle condizioni idrauliche del bacino per effetto dell'introduzione della cassa come opera destinata all'invarianza idraulica delle trasformazioni, il risultato è stato di osservare nel modello un miglioramento della sicurezza idraulica, nell'ipotesi più restrittiva che considera la massima trasformazione prevista al 2037 e non introducendo nessuna opera locale di mitigazione.

La modellazione idrologico-idraulica ha evidenziato che il principale effetto su cui si misurano le variazioni analizzate (trasformazioni urbanistiche e nuove opere idrauliche) è sui volumi di allagamento che interessano il bacino Cattal e ciò in considerazione di reti di raccolta caratterizzate da sezioni con ridotta capacità per la presenza di manufatti o per locali insufficienze arginali, in particolare nel tratto di collettore Acque Medie a monte della confluenza del Pagliaghetta e nel comparto delle acque basse.

Complessivamente i volumi calcolati dal modello in ingresso alle *2D Flow Area*, risultano di entità confrontabile, come ordine di grandezza, con i volumi di pioggia. Ciò a dimostrazione di quanto affermato sopra.

A fronte di un incremento di urbanizzazione previsto all'interno del sedime aeroportuale nella configurazione 2037 pari a 74 ettari, l'effetto della sola cassa di laminazione (scenario 2 – TR 50 anni), unitamente agli interventi idraulici realizzati in sedime, è una riduzione di circa il 40% del volume di esondazione dalla rete e del 25% del volume massimo di allagamento.

Nella seguente tabella si riporta una sintesi dei risultati della modellazione con riferimento agli allagamenti nel bacino Cattal.

Tabella 13. Sintesi dei risultati della modellazione con riferimento agli allagamenti nel bacino Cattal.

Scenario	TR [anni]	Volume allagamento totale [m ³ x1000]	Superficie allagamento totale [ha]	Volume massimo nella cassa [m ³ x1000]
1	50	648	263	-
2	50	491	216	146
3	50	215	121	53*
1	100	955	368	-
3	100	410	209	71*

**cassa funzionante solo a gravità senza manovre di regolazione*

I risultati del modello dimostrano come:

- nessun allagamento si verifici internamente al sedime aeroportuale anche per eventi con TR 100 anni;

- la realizzazione della cassa di laminazione MP01 – con riguardo agli sviluppi infrastrutturali e urbanizzativi che hanno interessato il sedime aeroportuale nel periodo 2014-2023, e a quelli programmati dal MP con orizzonte 2037 – non solo garantisca il principio d'invarianza idraulica ma generi un sensibile miglioramento delle generali condizioni di sicurezza idraulica dell'intero bacino Cattal.

Pertanto ogni nuova urbanizzazione o riconfigurazione di esistenti infrastrutture interne al sedime aeroportuale, aventi recapito finale in Pagliaghetta, anche se caratterizzate da opere idrauliche esistenti (di invaso e/o di scolo) che devono essere demolite ai fini dell'urbanizzazione/edificazione stessa, dovrà prevedere solamente, ai fini dell'ottenimento del necessario parere idraulico del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, nuove opere idrauliche tali da garantire:

- una capacità di portata con riguardo ad una pioggia caratterizzata da un TR di almeno 50 anni;
- un minimo volume d'invaso pari a 150 m³/ha di superficie d'intervento, senza alcun dispositivo di laminazione e senza necessità di recuperare i volumi preesistenti o legati all'eventuale innalzamento del piano campagna.

Le infrastrutture idrauliche di nuova realizzazione dovranno favorire l'invaso e quindi la loro posa in opera dovrà prevedere pendenze modeste e non superiori allo 0,2%.