

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO FUNZIONALE DEI BACINI
DI LAMINAZIONE DEI TORRENTI ARNO, RILE E TENORE
NEI COMUNI DI GALLARATE E CAVARIA (VA) - VA-E-254

CIG ZCE3A973FE - CUP B28H2200670002



PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA
E IDRAULICA

N° ELABORATO

C

SCALA

IL RESPONSABILE DEL PROGETTO



Studio Telò
Ingegneri
Largo 24 Agosto 1957, 33/A - Parma
Tel. 0521-292795 / studio@studiotelo.it

Ing. Riccardo Telò

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Sabrina Canali

AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLL.	APPROV.
0	GIU. 2024	EMISSIONE	Ing.Cappato	Ing.Cappato	Ing.Telò

INDICE

1. PREMESSA	2
2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE CARATTERISTICHE FISICHE MORFOLOGICHE DEI BACINI DEI TORRENTI RILE E TENORE	3
2.1. IL TORRENTE TENORE	3
2.2. IL TORRENTE RILE	4
2.3. LE VASCHE DI SPAGLIAMENTO	6
3. GLI INTERVENTI IDRAULICI PROGRAMMATI E REALIZZATI SUI TORRENTI RILE E TENORE	7
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	8
5. ANALISI IDROLOGICA.....	10
5.1. PREMESSA.....	10
5.2. INDAGINI PLUVIOMETRICHE.....	10
5.3. IETOGRAMMA CHICAGO	14
5.4. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI HEC HMS	15
6. ANALISI IDRAULICA.....	19
6.1.1. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO.....	19
6.2. QUADRO CONOSCITIVO TOPOGRAFICO	21
6.3. GEOMETRIA DEL MODELLO MATEMATICO	22
6.4. CONDIZIONI AL CONTORNO	24
6.5. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA	29

1. PREMESSA

La presente relazione Idrologica ed Idraulica è parte integrante del Progetto Esecutivo per l'adeguamento della parte terminale del rilevato arginale a conterminazione delle vasche di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore nei Comuni di Cassano Magnago, Busto Arsizio e Gallarate in provincia di Varese. L'incarico è stato affidato allo scrivente Studio di ingegneria da parte dall'Agenzia Interregionale per il fiume Po – Ufficio Operativo di Milano (di seguito AIPO).

Verranno qui descritti i risultati salienti dell'analisi idrologica condotta per la definizione delle portate e degli idrogrammi di piena di assegnato tempo di ritorno e della successiva modellazione idraulica bidimensionale condotta a supporto della progettazione.

L'attuale rilevato arginale delimita l'area di spagliamento dei due torrenti Rile e Tenore, necessarie in quanto si tratta di due torrenti endoreici, ossia non hanno un recapito finale ma si esauriscono nell'area in esame e l'acqua si infiltrata nel terreno. Secondo il progetto esecutivo redatto dallo Studio scrivente nel 2003 (e successiva modifica del 2007), la quota di coronamento dell'opera di attesta a quota 244.70 m s.l.m. lungo tutto il suo sviluppo e si raccorda con le naturali quote del terreno. Tale quota è stata fissata in modo da garantire un adeguato franco idraulico a fronte di un evento di piena associato ad un tempo di ritorno pari a 100 anni.

A seguito dell'esecuzione di un'indagine topografica condotta dallo Studio scrivente sono state individuate nel tratto lato Ovest, verso Gallarate, alcune "cordemolli" con un abbassamento della sommità di alcuni decimetri. Per tale motivo, si è reso necessario un suo ringrosso in quota e, in alcuni tratti, in sagoma al fine di riportarlo alla sua configurazione altimetrica originale. In definitiva, si tratta di opere di manutenzione straordinaria di un'opera realizzata a cure e spese di HUPAC SpA tra il 2003 ed il 2005.

In virtù dell'aggravio delle sollecitazioni climatiche che ha caratterizzato nell'ultimo decennio il territorio italiano, con un significativo aumento nell'intensità e nella frequenza di eventi eccezionali, si è deciso, su indicazione di AIPO, di condurre la verifica idraulica del manufatto a fronte di un evento di piena avente come tempo ritorno 200 anni.

Si ricorda infine che l'opera realizzata risponde ai dettami del PAI relativamente alle problematiche idrauliche del Sistema Arno-Rile e Tenore e che aveva previsto, relativamente alla parte terminale del bacino dei torrenti Rile e Tenore, la realizzazione di un presidio idraulico arginale nei comuni di Cassano Magnago, Gallarate e Busto Arsizio coincidente con il limite di progetto individuato.

2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE CARATTERISTICHE FISICHE MORFOLOGICHE DEI BACINI DEI TORRENTI RILE E TENORE

2.1. IL TORRENTE TENORE

Il torrente Tenore si sviluppa interamente all'interno della provincia di Varese, è caratterizzato da un bacino imbrifero stretto ed allungato confinante in sponda destra con i bacini di Arno e Rile ed in sponda sinistra con il bacino del fiume Olona. La superficie del bacino è di 13,50 Km², l'asta principale ha una lunghezza complessiva di 19,43 Km, di cui 11,29 Km nella parte montuosa-collinare e 8,14 Km nella parte di pianura. La quota minima del bacino è rappresentata dai 240,42 m.s.m. della sezione di chiusura alle vasche di spagliamento. Il torrente Tenore nasce nel territorio del Comune di Morazzone e si sviluppa prevalentemente lungo la direttrice nord-sud con andamento pressoché rettilineo attraversando i territori dei Comuni di Caronno Varesino, Carnago, Castelseprio, Cairate, Fagnano Olona, e Cassano Magnago dove, nella parte più meridionale del territorio comunale, sono ubicate le vasche di spagliamento recettive delle acque del Tenore ed anche del Rile.

Il corso del torrente può essere schematicamente suddiviso in due tratti principali, distinguibili in funzione delle caratteristiche morfologiche, idrografiche e di uso del suolo.

Il **tratto di monte** si sviluppa in territorio montano e collinare, l'alveo solca la valle inizialmente in direzione nord-sud e poi piega verso est descrivendo un'ampia curva, nel primo tratto, per circa 3 km, il corso d'acqua ha andamento pressoché rettilineo. Successivamente, fino alla sezione di chiusura del bacino montano in località Peveranza, l'andamento è marcatamente meandriforme per circa 6,5 km. Il reticolo idrografico è caratterizzato dalla presenza di vari affluenti laterali con lunghezze d'asta variabili fino ad un massimo di circa 2 km ed anche dalla immissione negli stessi rii o direttamente nel Tenore di scarichi urbani provenienti dai vari insediamenti che insistono sul territorio. Il bacino idrografico di monte ha una estensione di circa 9,57 ha e risulta suddiviso in:

- 18,3 % (175 ha) superficie urbanizzata,
- 19,3 % (185 ha) superficie agricola con colture seminate, prati o incolti,
- 0,1 % (1 ha) agricola con colture arboree
- 62,3 % (596 ha) superficie forestale a bosco ceduo o ad alto fusto¹

Si evidenzia pertanto che in questa porzione di bacino la pressione antropica moderata ha consentito il mantenimento di un territorio naturale principalmente boscato. Tali aree costituite principalmente da boschi misti di latifoglie, in parte cedui ed in parte ad alto fusto, ospitano prevalentemente robinie ed alcune specie di querce.

¹ Da: "Sistemazione idraulica e ambientale dei territori appartenenti ai bacini idrografici dei torrenti Arno, Rile e Tenore" – Autorità di Bacino del Fiume Po

Il **secondo tratto è quello di pianura** si estende da Peveranza fino alla foce nelle vasche di spagliamento in Comune di Cassano Magnago, nella parte più settentrionale di questo secondo sottobacino il reticolo idrografico è ancora costituito da affluenti veri e propri, mentre dopo circa 2,5 km questi si esauriscono, il territorio diventa estremamente pianeggiante e gli ingressi in alveo sono costituiti solamente dagli scarichi fognari dei vari poli urbanizzati. La sezione di chiusura di questo sottobacino è posta direttamente alla foce, la superficie sottesa è di circa 394 ha suddivisa in:

- 18,0 % (71 ha) superficie urbanizzata,
- 47,5 % (187 ha) superficie agricola con colture seminate, prati o incolti,
- 0,0 % (0 ha) agricola con colture arboree,
- 34,5 % (135 ha) superficie forestale a bosco ceduo o ad alto fusto.

Dall'esame di questi valori percentuali, si evidenzia come nell'area di pianura risulta accentuata la pressione antropica ed il territorio è principalmente votato ad uno sfruttamento intensivo agricolo ed artigianale-industriale. Il bacino del torrente Tenore è caratterizzato, così come per i territori limitrofi, da affioramenti geologici tutti di origine sedimentaria che hanno subito processi di degrado e trasformazione tra loro differenti, in parte derivano dalla alterazione delle rocce ignee e metamorfiche dell'arco alpino e prealpino mentre una seconda parte proviene da depositi fluvioglaciali e alluvionali. A seconda delle caratteristiche litologiche e mineralogiche i terreni superficiali e profondi presentano gradi di permeabilità differenti.

TABELLA 1 CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE TENORE

Superficie bacino idrografico			
<i>area urbanizzata</i>	<i>Su</i>	2.46	<i>Km²</i>
<i>area coltivata</i>	<i>Sc</i>	3.73	<i>Km²</i>
<i>area boschiva</i>	<i>Sb</i>	7.31	<i>Km²</i>
Totale superficie bacino	<i>S</i>	8.63	<i>Km²</i>
Lunghezza dell'asta principale fino alle vasche	<i>L</i>	19.43	<i>Km</i>
Quota sezione chiusura alle vasche	<i>Hs</i>	240,42	<i>m.s.m.</i>

2.2. IL TORRENTE RILE

Il torrente Rile nasce nella porzione meridionale del territorio comunale di Caronno Varesino, prosegue poi il suo corso seguendo una direttrice nord-sud ed attraversa dapprima il territorio comunale di Carnago, ed in seguito, dopo aver interessato la frazione di Rovate ed il centro sportivo di Milanello, raggiunge il territorio del comune di Cassano Magnago, nel quale termina il suo corso immettendosi in vasche di spagliamento.

Il corso del torrente può essere suddiviso in quattro tratti diversi, aventi ciascuno specifiche tipologie morfologiche e quindi caratteristiche idrauliche proprie.

I quattro tratti del Rile sono così distinguibili:

- tratto di monte;

- tratto urbano;
- tratto tombinato;
- tratto terminale.

Il primo di questi tratti (tratto di monte) inizia in corrispondenza della sorgente del torrente Rile e termina in corrispondenza della stazione di grigliatura automatica localizzata in via Trieste (in Comune di Cassano M.), poco più a valle della confluenza con il rio Freddo. Si tratta di un percorso che copre circa 6,9 km, in cui l'alveo ha conservato per lo più la sua configurazione naturale.

Il tratto successivo (tratto urbano) inizia a valle della griglia di via Trieste e prosegue fino all'imbocco della tombinatura, per una lunghezza complessiva di circa 660 m. In corrispondenza del tratto urbano iniziale (ovvero fino al sottopasso localizzato in corrispondenza dello svincolo di via Trieste) le sezioni presentano un profilo trapezio e sono caratterizzate da un rivestimento a scogliera in sponda sinistra e in cemento in sponda destra. Nel tratto urbano successivo (ovvero in prossimità del tombotto) le sezioni tendono a regolarizzarsi ed assumono un andamento rettangolare, con rivestimento in calcestruzzo.

Il tratto seguente (tratto tombinato) è preceduto da una sezione di grigliatura non automatizzata, localizzata in corrispondenza dell'imbocco. Questa porzione del corso del Rile si sviluppa proprio in corrispondenza del centro abitato per un percorso di circa 1.800 m; è caratterizzata da un condotto chiuso di sezione policentrica (intervento effettuato negli anni '30).

A valle della tombinatura (tratto terminale) e per una lunghezza complessiva di m 2.400 il torrente Rile prosegue il proprio corso, sottopassa l'autostrada Milano-Varese e termina nelle quattro vasche di raccolta, localizzate nell'estrema porzione meridionale del territorio di Cassano Magnago, in corrispondenza del confine con Busto Arsizio da un lato e Gallarate dall'altro.

Dall'uscita del tombotto, per circa 700 m fino al ponte di Strada S. Pio X, il corso d'acqua è stato ricalibrato ad opera di AIPO, con rivestimento di entrambe le sponde in scogliera radente. Tale tipologia è stata poi ribadita più a valle per altri 100 m. Recentemente è stato realizzato anche uno scolmatore laterale da parte di ANAS nell'ambito delle opere legate alla Bretella di Gallarate. Il recapito finale del torrente Rile è costituito dalle vasche di spagliamento. In esse confluiscono, congiuntamente alle acque del Rile, anche le acque del vicino torrente Tenore. Il bacino idrografico del torrente Rile è di forma allungata e stretta, caratterizzato nella sua porzione più centrale da una valle piuttosto incassata. Il territorio ricadente nel bacino è costituito prevalentemente da aree boschive (42%) e da aree coltivate (36%); le aree urbanizzate sono invece presenti in misura minore (26%) e sono distribuite per lo più nel tratto interessato dall'abitato di Cassano Magnago. Le aree boschive si estendono dall'incile del corso d'acqua fino al suo ingresso nel territorio comunale di Cassano Magnago. Si tratta di boschi misti di latifoglie, in cui predominano le robinie (*pseudo acacia*); sono presenti anche diverse specie di querce (*quercus robur* e *pubescens*), anche di notevole pregio naturalistico. Ricco è pure il sottobosco, costituito da arbusti tipici di questa fascia climatica: biancospini (*crataegus monogina*), cornioli (*cornus mas*), sanguinelle (*cornus sanguinea*), lantana, ciliegi selvatici (*prunus avium*), ecc.

La porzione meridionale del bacino presenta il maggior grado di urbanizzazione: le aree boschive in questo tratto sono praticamente assenti e le aree verdi e coltivate si riducono a piccoli appezzamenti localizzati nel lembo più meridionale del bacino. Le caratteristiche principali del torrente Rile vengono riportate in Tabella 3.

TABELLA 2 CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE TENORE

Superficie bacino idrografico			
<i>area urbanizzata</i>	<i>Su</i>	<i>3.90</i>	<i>Km²</i>
<i>area coltivata</i>	<i>Sc</i>	<i>2.98</i>	<i>Km²</i>
<i>area boschiva</i>	<i>Sb</i>	<i>2.42</i>	<i>Km²</i>
Totale superficie bacino	<i>S</i>	<i>18.74</i>	<i>Km²</i>
Lunghezza dell'asta principale fino alle vasche	<i>L</i>	<i>11.80</i>	<i>Km</i>
Quota sezione chiusura alle vasche	<i>Hs</i>	<i>240,42</i>	<i>m.s.m.</i>

2.3. LE VASCHE DI SPAGLIAMENTO

Il recapito finale dei torrenti Rile e Tenore è rappresentato da vasche di spagliamento. Esse vennero realizzate negli anni '70, al fine di creare una cassa di disperdimento naturale che agisse da volano tra un evento di piena e l'altro, in modo tale, cioè, che fossero in grado di drenare rapidamente l'acqua in arrivo durante gli eventi di piena e successivamente di svuotarsi rapidamente, in attesa dell'evento di piena seguente.

Le quattro vasche sono così suddivise:

- la vasca R riceve le acque di scolo del Rile, ha una superficie totale di 18.000 m² ed una capacità utile di invaso pari a 90.000 m³;
- la vasca T riceve le acque del Tenore, ha una superficie totale di 20.000 m² ed una capacità di invaso pari a 85.000 m³;
- la vasca RTp è alimentata per sfioro dalle due vasche precedenti, ha una superficie totale di 42.000 m² ed una capacità di invaso pari a 190.000 m³;
- la vasca RT (suddivisa in RTm1 e RTm2) è alimentata anch'essa dalle prime due vasche, ha una superficie totale di 9.000 m² ed ha una capacità di invaso pari a 8.000 m³.

È inoltre presente un'opera di sfioro che entra in funzione a seguito di eventi piovosi particolarmente intensi e recapita le acque di supero delle vasche nel fiume Olona, in territorio comunale di Olgiate Olona. Il condotto è lungo circa 6 Km e si sviluppa dapprima parallelamente alla superstrada della Malpensa e in seguito parallelamente all'autostrada Milano-Varese.

I quattro invasi di raccolta hanno subito nel corso degli anni una progressiva impermeabilizzazione del loro fondo determinata dall'ingresso di reflui non trattati, provenienti per lo più dal comune di Cassano Magnago e veicolati dal Rile e dal Tenore. Per tale motivo le vasche sono oggetto di ripetute opere di bonifica.

3. GLI INTERVENTI IDRAULICI PROGRAMMATI E REALIZZATI SUI TORRENTI RILE E TENORE

Sulla base delle indicazioni e delle risultanze dell'accordo di Programma Arno-Rile-Tenore tra l'Autorità di Bacino per il Po, la Regione Lombardia e Comuni e contenuti nel documento dal titolo. *“Sistemazione idraulica ambientale dei territori appartenenti ai bacini idrografici dei torrenti Arno, Rile e Tenore”*, è stata definita una serie di interventi finalizzata al contenimento delle onde di piena.

Allo stato attuale sul Torrente Tenore sono state realizzate alcune delle opere previste, viceversa sul torrente Rile ormai quasi tutte sono state ultimate e collaudate.

Sono state realizzate le seguenti opere:

- realizzazione di n° 5 vasche di laminazione in serie a monte dell'abitato di Cassano Magnago;
- adeguamento e potenziamento dello sgrigliatore di via Trieste e di via Buttafava;
- ricalibratura sezioni di deflusso e stabilizzazione del thalweg del rio Freddo;
- adeguamento e rialzo arginale delle sezioni di deflusso del Rile nel suo tratto urbano;
- ricalibratura sezioni di deflusso del Rile a valle del tombotto fino all'autostrada MI-VA compreso nuovo by pass;
- realizzazione di ecofiltro a valle dell'autostrada MI-VA per aumentare la capacità di accumulo delle vasche di spagliamento e filtrare le acque in arrivo da agenti contaminanti;
- spostamento a valle del tombotto delle acque bianche generate nell'area Soiano;
- adeguamento ponte di via San Pio X;
- completamento difese spondali e rialzi arginali;
- realizzazione dell'arginatura della zona di valle per l'accumulo e lo smaltimento negli strati superficiali del sottosuolo dei volumi della piena di riferimento;

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Le opere oggetto di progettazione Esecutiva prevedono la manutenzione straordinaria di una parte del sistema arginale di conterminazione dell'area di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore. In particolare, gli interventi previsti sono:

- Ringrosso in quota ed in sagoma del rilevato arginale esistente del segmento occidentale dell'opera (lato Gallarate) nel tratto a Nord di Viale dell'Unione Europea (in rosso in Figura 4-1) fino alla quota originaria di progetto pari a 244.70 m s.l.m. per una lunghezza di 480 m;
- Ringrosso in quota ed in sagoma della carraia esistente fino alla quota di progetto di 244.70 m s.l.m. a partire dal moncone di argine esistente per un tratto della lunghezza di 330 m, ovvero fino a quando la quota di progetto coincide con il piano campagna (in rosso in Figura 4-1).

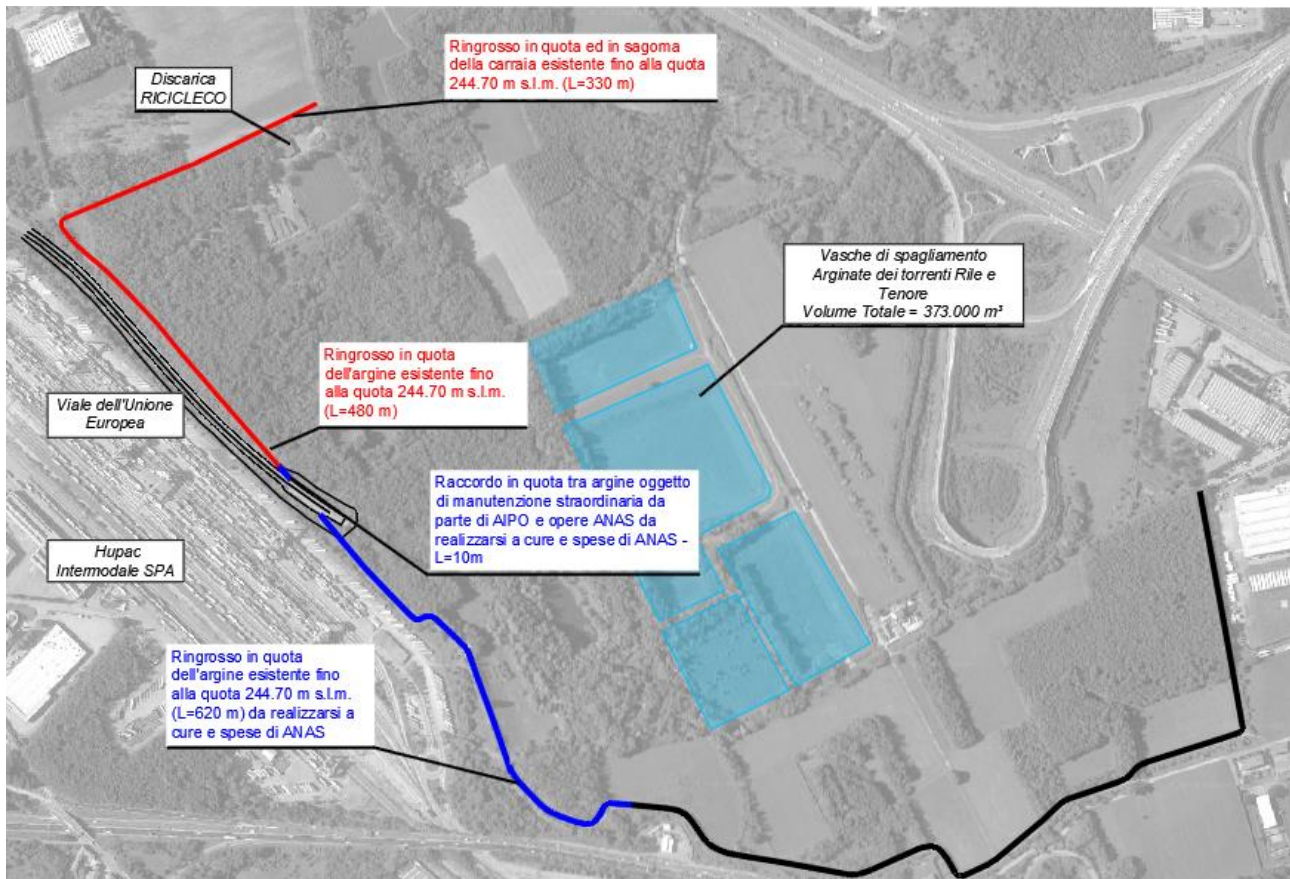


FIGURA 4-1 MASTERPLAN DELLE OPERE IN PROGETTO

Il tratto compreso tra Viale dell'Unione Europea ed il distributore di carburante in Comune di Busto Arsizio (in blu in Figura 4-1), inizialmente previsto all'interno del PFTE, è stato stralciato dal presente Progetto Esecutivo a seguito di quanto convenuto tra gli scriventi, AIPO ed ANAS al termine di un incontro collegiale. Tale accordo prevede che il tratto di argine esistente interessato dai lavori per la realizzazione della Nuova Bretella di

Gallarate venga messo in sicurezza a cure e spese di ANAS nell'ambito del cantiere della nuova infrastruttura stradale. Data la probabile contemporaneità del cantiere ANAS e di quello AIPO per la realizzazione delle opere in oggetto, lo stralcio delle opere a sud di Viale dell'Unione Europea consente una netta separazione tra i due cantieri, a beneficio della sicurezza di tutti i lavoratori coinvolti.

SEZIONE TIPOLOGICA RINGROSSO ARGINALE

Da Sez. R8J a Sez. R11A
scala 1:50

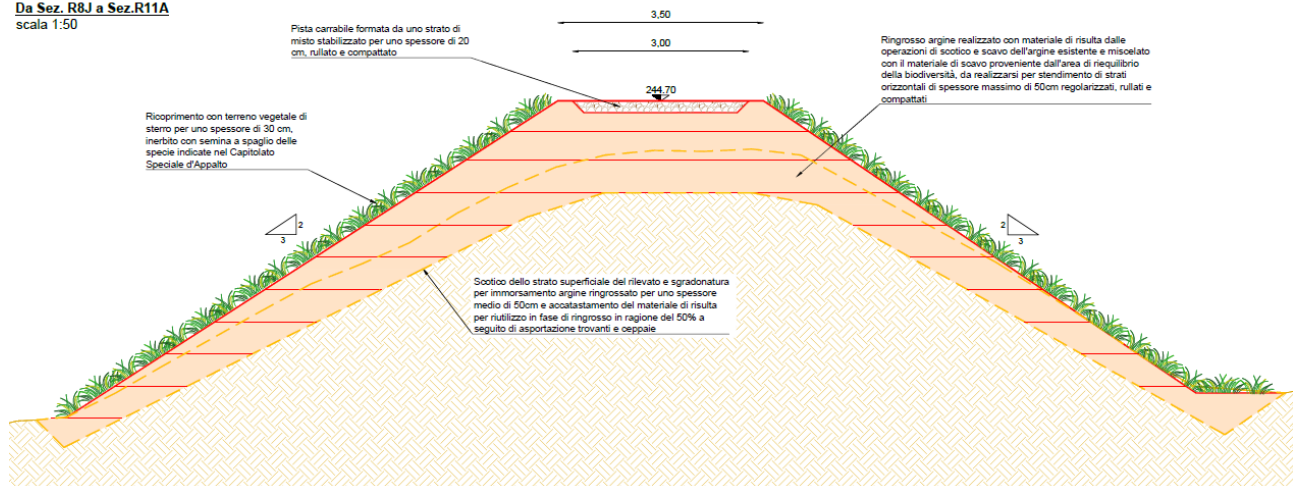


FIGURA 4-2 SEZIONI TIPOLOGICA DEL RINGROSSO DELL'ARGINE ESISTENTE - ESTRATTO DA TAVOLA PE.08

SEZIONE TIPOLOGICA REALIZZAZIONE NUOVO ARGINE

Da Sez. A0.5 a Sez. A7
scala 1:50

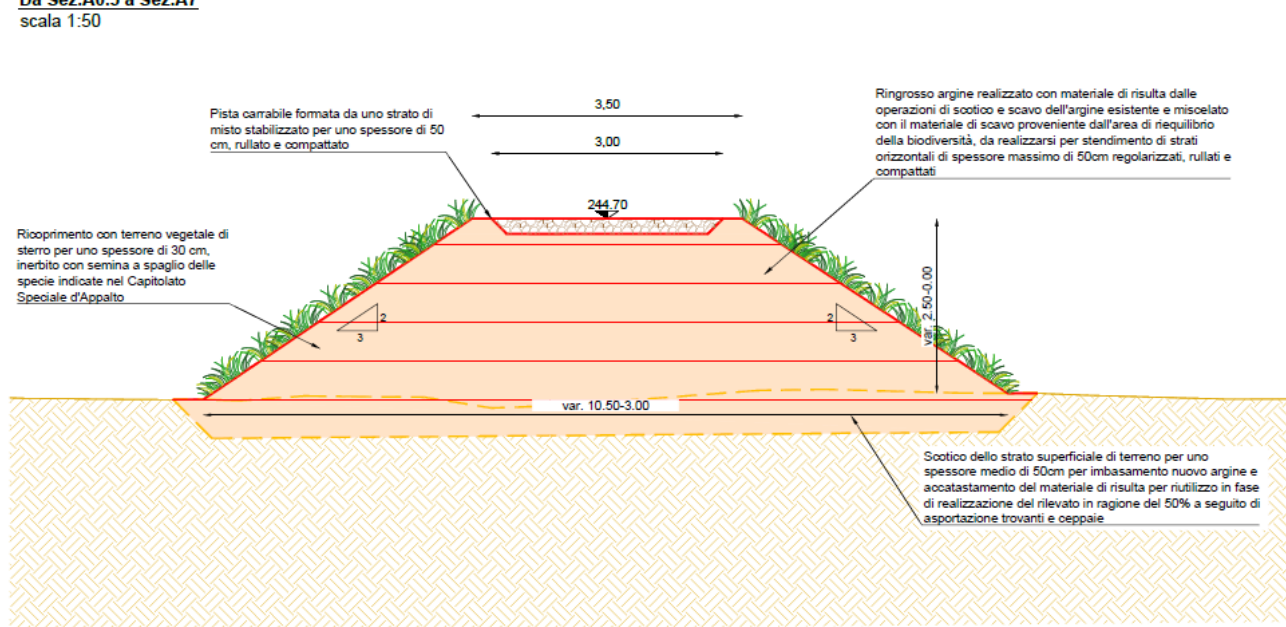


FIGURA 4-3 SEZIONI TIPOLOGICA DEL RINGROSSO DELLA CARRAIA ESISTENTE - ESTRATTO DA TAVOLA PE.08

5. ANALISI IDROLOGICA

5.1. Premessa

In questo capitolo viene illustrato il procedimento seguito per la valutazione degli idrogrammi di progetto che sono stati utilizzati per la verifica idraulica delle opere in progetto. Le analisi idrologiche sono state condotte a partire dalle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate a cura dell'ARPA Lombardia. Si tratta di espressioni che descrivono l'andamento dell'altezza di precipitazione h [mm] in funzione della durata dell'evento e vengono costruite a partire da un modello probabilistico. Dalle linee segnalatrici sono stati ricavati gli ietogrammi di progetto impiegati come dati di input per il modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi.

5.2. Indagini pluviometriche

Le linee segnalatrici si ricavano secondo il concetto probabilistico del tempo di ritorno (TR) che rappresenta il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità (altezza di pioggia).

La dipendenza di tali linee, espresse in mm di pioggia, dalla durata D dell'evento pluviometrico è funzione di tre parametri secondo la formula:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

Le immagini seguenti mostrano l'andamento qualitativo del coefficiente pluviometrico orario parametro a_1 calcolato secondo le elaborazioni dei dati pluviometrici sulle principali stazioni presenti nel territorio regionale. Analogamente anche l'esponente di scala parametro n e il quantile dell'altezza di precipitazione normalizzata parametro w , questo espresso in funzione del TR, sono stati calcolati e messi a disposizione dalla stessa ARPA Lombardia su tutto il territorio regionale. Accedendo al portale cartografico della regione Lombardia, disponibile on line dal sito dell'ARPA, è possibile quindi determinare i parametri a_1 , n e $w(TR)$ attraverso i quali è possibile ricavare le curve di possibilità pluviometrica (di seguito CPP) in qualsiasi cella.

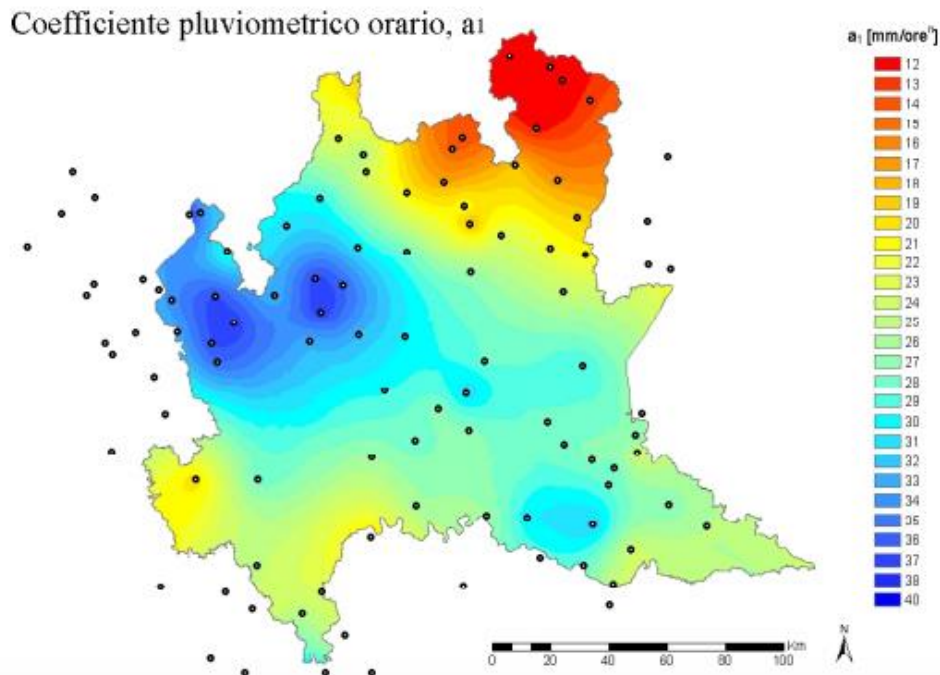


FIGURA 5-1 - ANDAMENTO QUALITATIVO DEL PARAMETRO a_1 , PER LA DEFINIZIONE DELLE LINEE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER DURATE COMPRESSE TRA 1 E 24 ORE SULL'INTERO TERRITORIO REGIONALE (ARPA LOMBARDIA)

Il Parametro n è fortemente influenzato dalla quota.

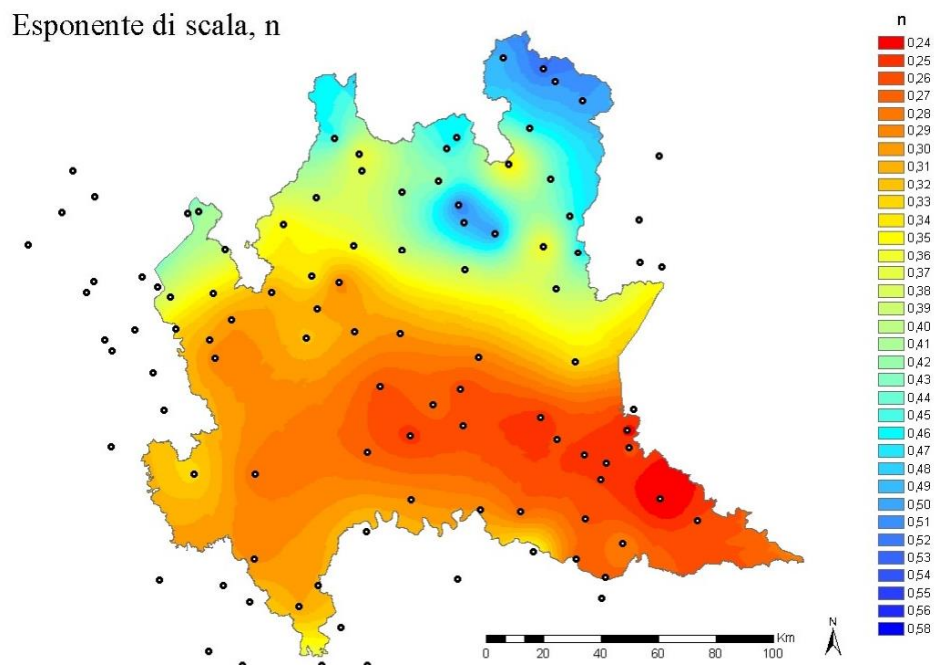


FIGURA 5-2 - ANDAMENTO QUALITATIVO DEL PARAMETRO n PER LA DEFINIZIONE DELLE LINEE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER DURATE TRA 1 E 24 ORE SULL'INTERO TERRITORIO REGIONALE (ARPA LOMBARDIA)

Dalla seguente correlazione empirica dei parametri di locazione ε , del parametro di scala α e del parametro di forma κ :

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Regione Lombardia ha definito il quantile dell'altezza di precipitazione normalizzata, parametro w , espresso in funzione del tempo di ritorno (TR). Come esempio si riporta nell'immagine sottostante l'andamento dello stesso nel caso di TR=10 anni.

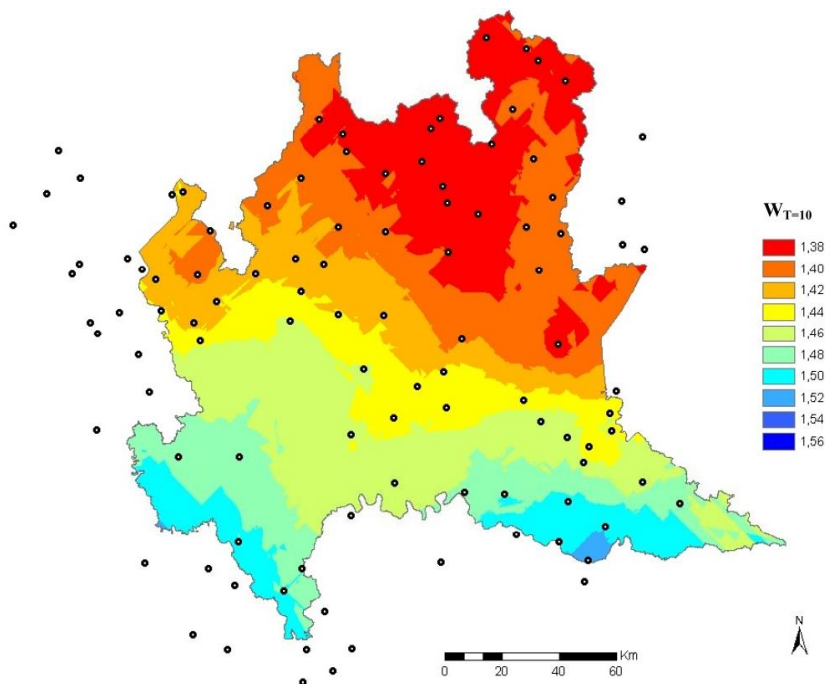


FIGURA 5-3 - MAPPA DEL QUANTILE NORMALIZZATO PER UN PERIODO DI RITORNO TR=10 ANNI, OTTENUTA A PARTIRE DALLE MAPPE DEI PARAMETRI ε , α , κ

Dal sito dell'ARPA Lombardia in corrispondenza dell'area oggetto di PUA sono stati estrapolati i parametri riportati nella tabella seguente.

TABELLA 5-1 - PARAMETRI FORNITI DALL'ARPA LOMBARDIA PER LA DETERMINAZIONE DELLE CPP NELL'AREA DI INTERESSE

PARAMETRO	VALORE
a_1 - Coefficiente pluviometrico orario	31.59
n - Coefficiente di scala	0.338
GEV - parametro α	0.2836
GEV - parametro κ	-0.0113
GEV - parametro ε	0.8312

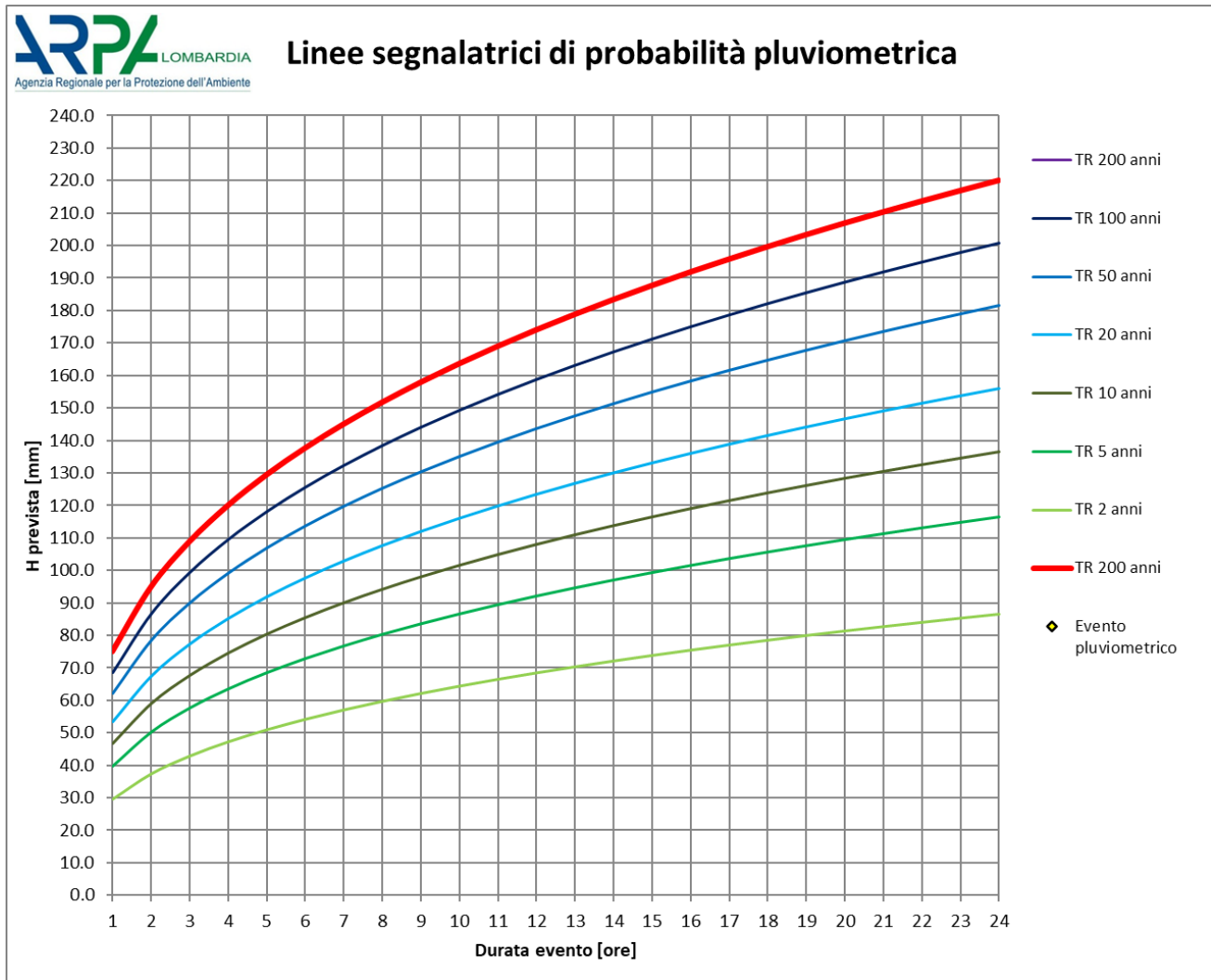


FIGURA 5-4 - LINEE SEGNALATRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA RELATIVE ALL'AREA DI STUDIO

Una volta determinati i parametri di pioggia, è stato adottato lo ietogramma di progetto di tipo "Chicago", la cui determinazione è illustrata in dettaglio nel paragrafo successivo.

5.3. Ietogramma Chicago

Lo ietogramma di progetto di tipo Chicago è caratterizzato da un picco di intensità massima e da una intensità media per ogni durata, anche parziale, uguale a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica. La costruzione di tale ietogramma viene definita dalla seguente relazione:

$$\int_0^d i(t) dt = a(T) d^{n(T)} \quad \forall d$$

Dove:

$$a(T) = a_1 \cdot w_1(T)$$

Si impone che il picco non sia all'inizio dell'evento, ma si verifichi all'istante $t_r = r \cdot d$ interno alla durata d ($0 \leq r \leq 10 \leq r \leq 10 \leq r \leq 1$). La posizione del picco può essere scelta sulla base delle indagini statistiche relative alla zona in esame oppure, in mancanza di informazioni, imporre $r = 0.375$ $r = 0.375$.

Le equazioni dell'intensità di pioggia risultano essere:

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t_r - t}{k} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t - t_r}{1 - k} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \geq t_r$$

Si osservi che lo ietogramma calcolato in tale modo diverge intorno al picco, pertanto viene corretto tenendo conto dell'equazione cioè, il volume di pioggia deve essere sempre uguale a quello ottenuto dalle curve di possibilità pluviometrica per ogni durata. Una caratteristica dello ietogramma è di essere poco sensibile al variare di durata d . Infatti, l'aumento di quest'ultimo non influisce sulla parte centrale dello ietogramma. Occorre rimarcare che lo ietogramma Chicago, poiché rispetta la curva di possibilità pluviometrica per ogni durata parziale, è composto da una particolare intensità di pioggia, ciascuna delle quali è correlata al medesimo tempo di ritorno della curva di possibilità pluviometrica medesima; pertanto, con semplici considerazioni sulla possibilità composta, si può dedurre che tale tipo di ietogramma presenta un tempo di ritorno che aumenta progressivamente al crescere della durata di base, scostandosi sempre più dal tempo di ritorno della curva di possibilità pluviometrica da cui esso è tratto.

Le caratteristiche morfologiche dei due bacini, Rile e Tenore, vengono riportati nella tabella sottostante.

	Torrente Rile	Torrente Tenore
AREA (km ²)	8.63	18.74
Tempo di ritardo (ore)	3.58	6.83
Tempo di corrivazione (ore)	5.97	11.38

Gli ietogrammi di progetto ricostruiti vengono riportati nelle due immagini sottostanti.

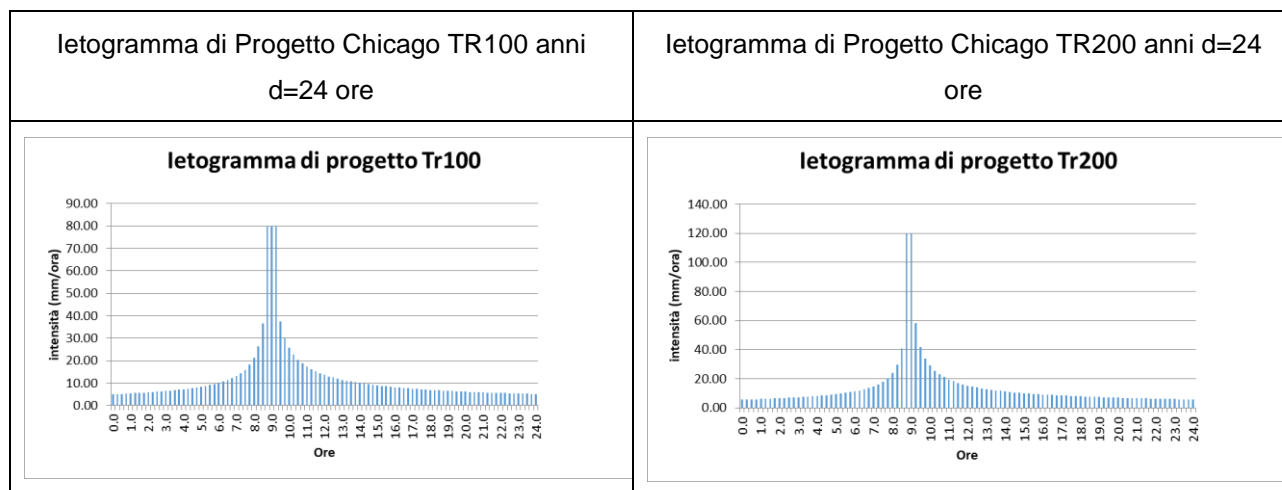


FIGURA 5-5– IETOGRAMMA DI PROGETTO DI TIPO CHICAGO

5.4. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI HEC HMS

I modelli afflussi-deflussi vengono utilizzati per calcolare le caratteristiche principali dell'onda di piena a partire dalle precipitazioni estreme statisticamente significative.

Le piene si originano dalle precipitazioni meteoriche con modalità che dipendono dalle caratteristiche, molto variabili sia nel tempo che nello spazio. La variabilità delle precipitazioni non è l'unico elemento che incide alla formazione del deflusso superficiale un elemento importante è la condizione del suolo. Le informazioni relative all'uso del suolo sono state prese dagli studi idrologici pregressi condotti sul torrente Rile e Tenore. Tali parametri sono compatibili anche con lo studio idrologico svolto per conto dell'Anas relativo al progetto definitivo "Stralcio Funzionale dal Km 6+500 al Km 8+844, Bretella Di Gallarate".

Il presente modello, utilizzato per il calcolo dell'idrogramma di piena, è stato implementato facendo uso del software HEC-HMS. Il software è un prodotto della Hydrologic Engineering Center all'interno della Army Corps of Engineers.

La simulazione condotta con il modello idrologico è stata fatta per il Torrente Rile e il Torrente Tenore. I parametri di riferimento, per lo sviluppo del modello idrologico dei due sottobacini, sono compatibili a quelli utilizzati nel corso dello studio condotto su commissione dell'ANAS per la progettazione delle vasche di spagliamento. Vengono riportati nelle figure sottostanti gli idrogrammi di piena risultanti dalla modellazione.

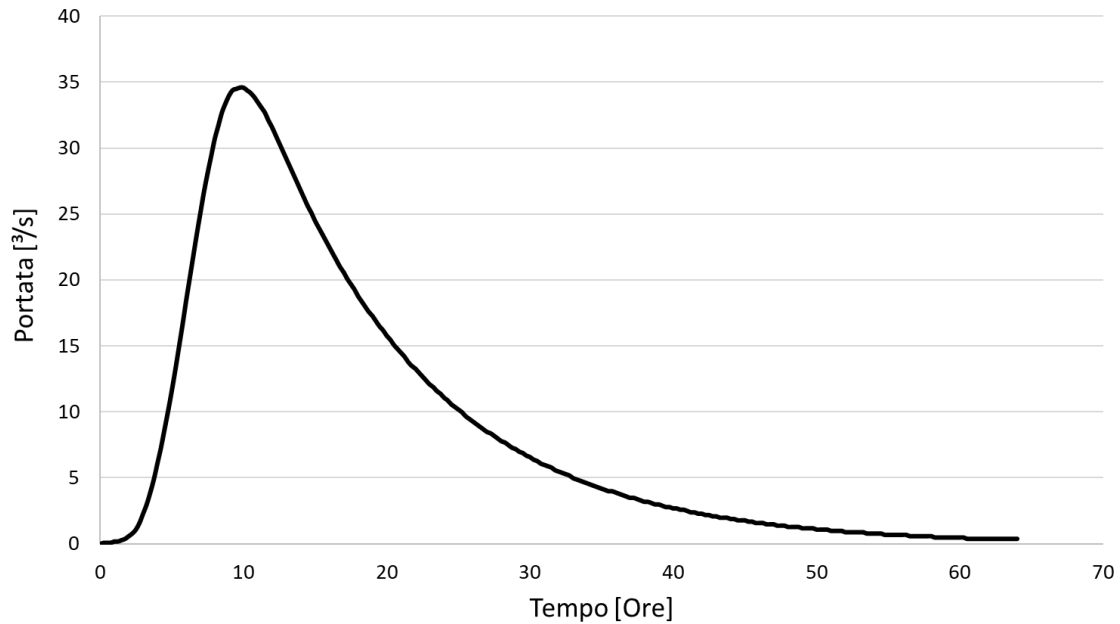


FIGURA 5-6– IDROGRAMMA TENORE TR 200 ANNI

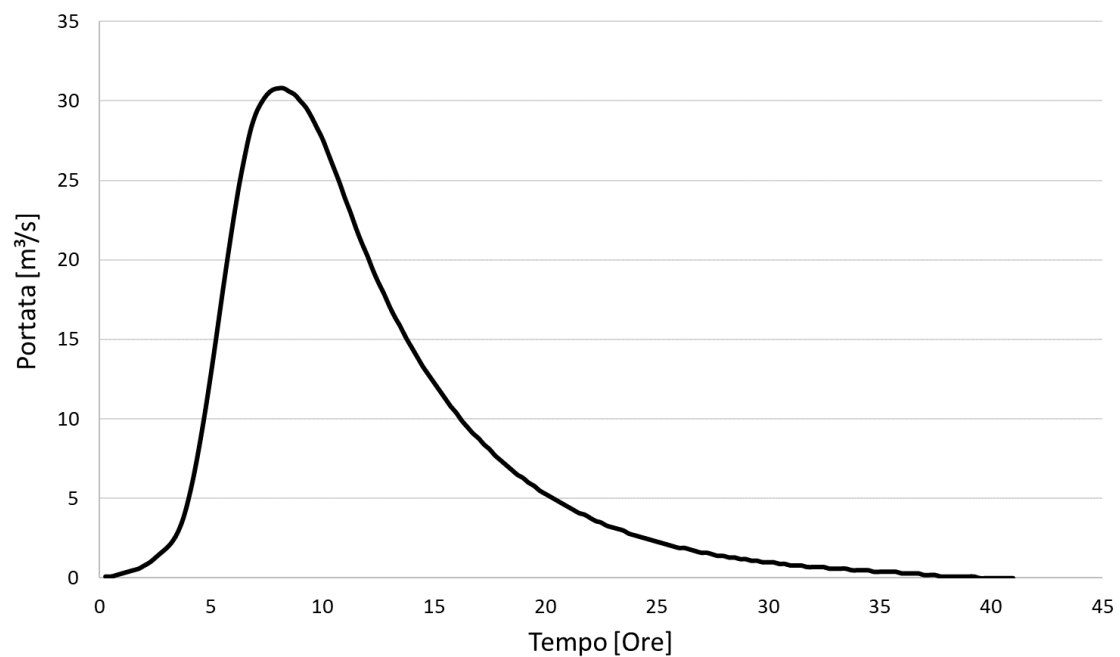


FIGURA 5-7– IDROGRAMMA RILE TR 200 ANNI

Sommario dei volumi defluiti TR 200 - Tenore

Volume Lordo	228.22	mm	4,276,800.00	m³
Volume perso	118.11	mm	2,213,400.00	m³
Volume defluito	110.11	mm	2,063,400.00	m³

Sommario dei volumi defluiti TR 200 - RILE

Volume Lordo	228.22	mm	1,969,500.00	m³
Volume perso	96.81	mm	835,500.00	m³
Volume defluito	131.41	mm	1,134,000.00	m³

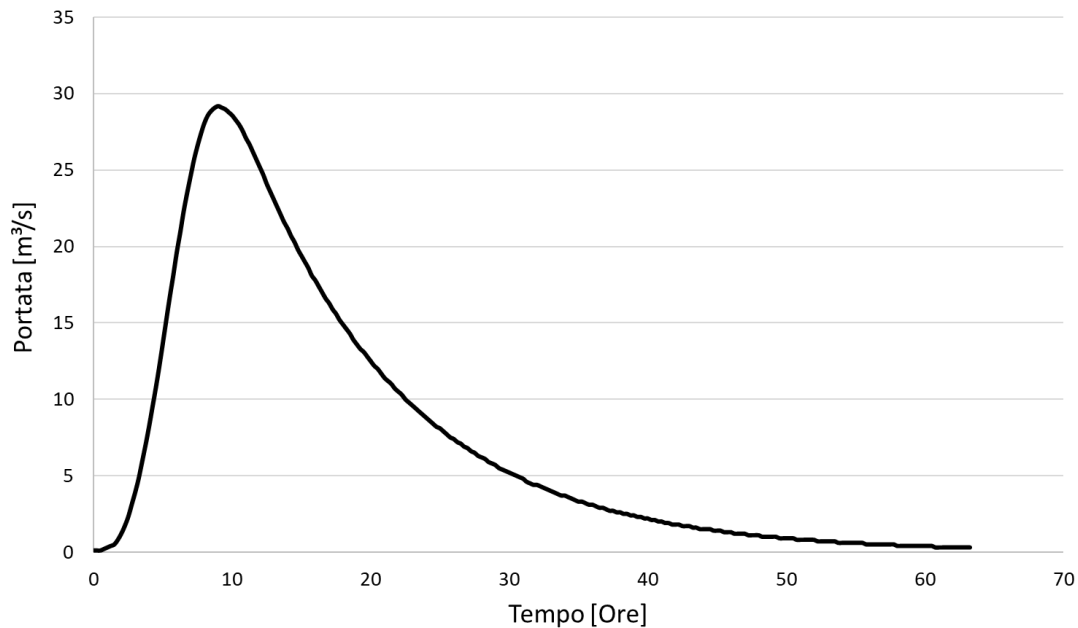


FIGURA 5-8– IDROGRAMMA TENORE TR 100 ANNI

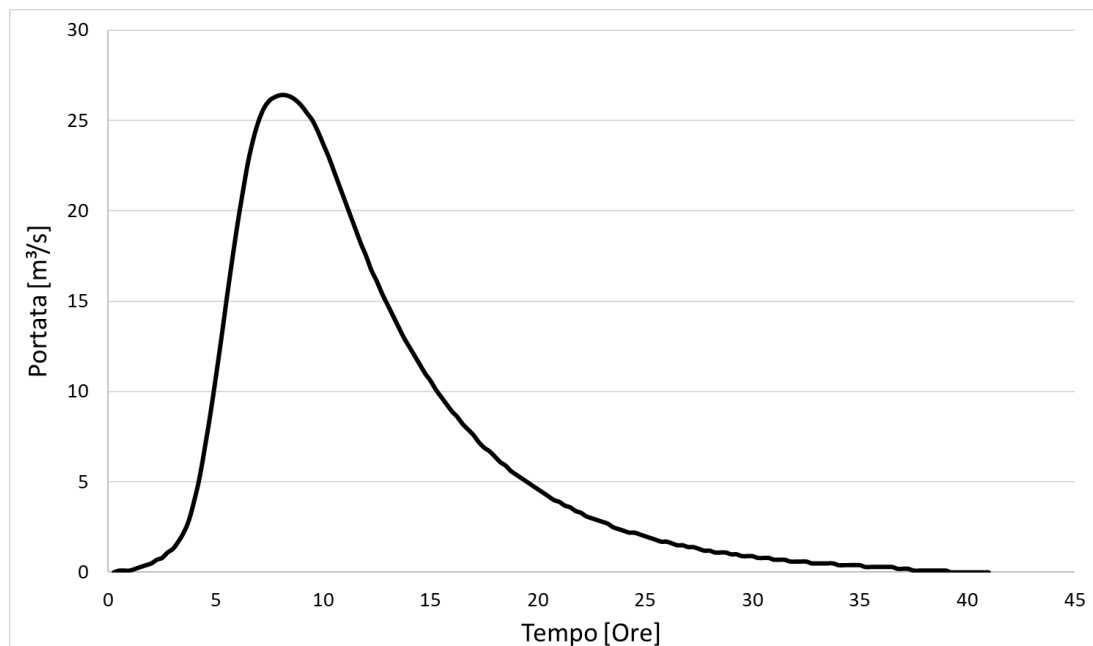


FIGURA 5-9– IDROGRAMMA RILE TR 100 ANNI

Sommario dei volumi defluiti - TR 100 Tenore

Volume Lordo	206.11	mm	3,862,500.00	m³
Volume perso	113.52	mm	2,127,300.00	m³
Volume defluito	92.59	mm	1,735,200.00	m³

Sommario dei volumi defluiti - TR 100 Rile

Volume Lordo	206.11	mm	1,778,795.00	m³
Volume perso	93.74	mm	809,000.00	m³
Volume defluito	112.37	mm	969,795.00	m³

Le indagini condotte nell'ambito del presente Progetto Definitivo/Esecutivo hanno confermato i risultati dello studio idrologico richiesto da ANAS nell'ambito del Progetto Esecutivo della nuova Bretella di Gallarate come mostrato in Tabella 5-2 dove si osservano dei volumi generati molto simili tra i due studi. Per tale motivo, in virtù di una continuità tra gli studi nell'area, verranno in questo studio utilizzati i medesimi idrogrammi di piena TR 200 anni risultanti dalla modellazione idrologica condotta da ANAS con riferimento al modello Horton, riportati in Figura 5-10.

TABELLA 5-2 – CONFRONTO TRA I VOLUMI DEFLUITI PER TR 200 ANAS - AIPO

	ANAS SCS-CN		ANAS Horton		AIPO SCS-CN	
T. Tenore	0.9	Mm ³	1.9	Mm ³	2.06	Mm ³
T. Rile	2.35	Mm ³	1.05	Mm ³	1.13	Mm ³
Totale	3.25	Mm ³	2.95	Mm ³	3.19	Mm ³

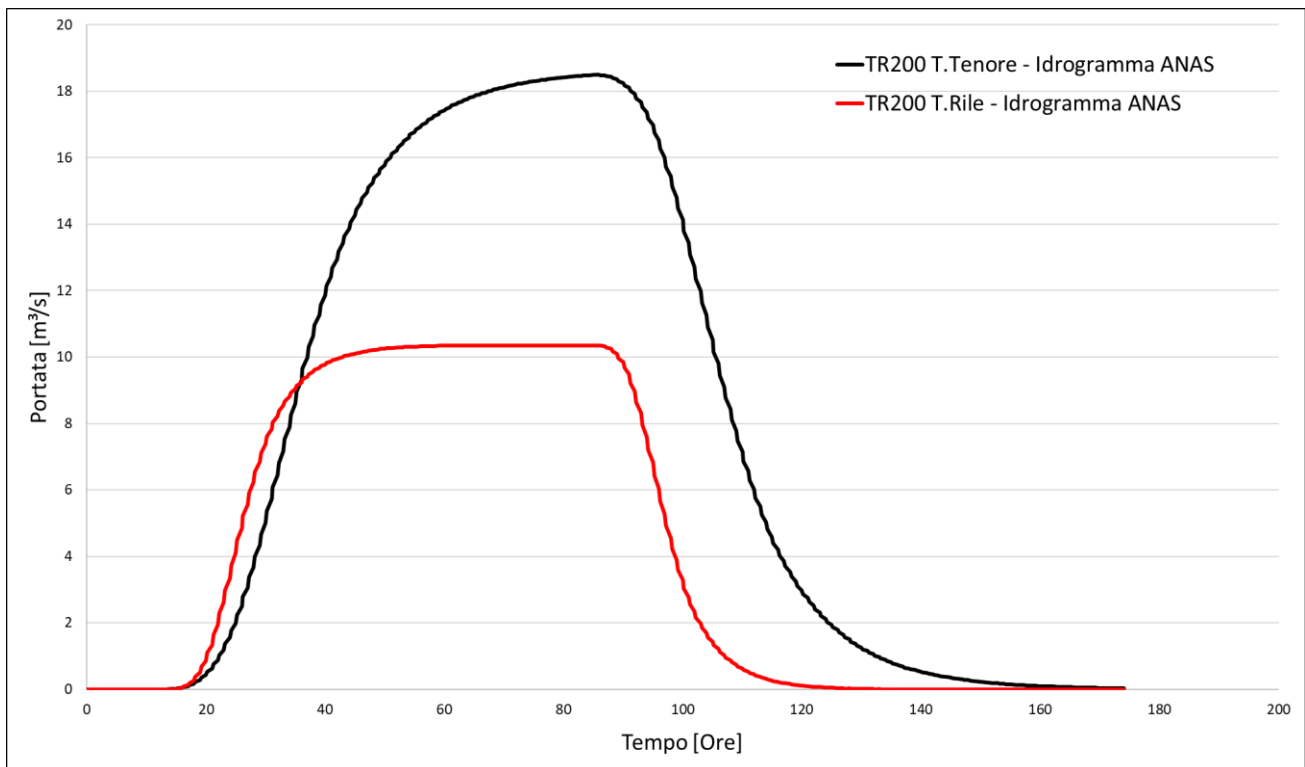


FIGURA 5-10 IDROGRAMMI DI PIENA TR 200 ANNI PER I TORRENTI RILE E TENORE RISULTANTI DALLA MODELLAZIONE IDROLOGICA CONDOTTA DA ANAS NELL'AMBITO DEL PROGETTO ESECUTIVO DELLA NUOVA BRETELLA DI GALLARATE

6. ANALISI IDRAULICA

In questo capitolo vengono sinteticamente riportati i passaggi fondamentali che hanno portato alla creazione del modello idraulico realizzato a supporto della progettazione ed un estratto dei risultati salienti della modellazione idraulica condotta.

La verifica della funzionalità delle opere in oggetto è stata effettuata con il supporto di un modello idrodinamico bidimensionale in moto vario appositamente creato utilizzando il software di pubblico dominio HEC-RAS (Ver.6.2) e che consente di propagare un'onda di piena all'interno del dominio di calcolo composto da una mesh a maglie di dimensione e forma variabile, e di determinare puntualmente le grandezze idrauliche di riferimento (tiranti idraulici, campo delle velocità, tensioni tangenziali, ecc.) sia nell'alveo inciso che nelle aree golenali. Grazie allo schema di calcolo bidimensionale, è possibile valutare nel dettaglio anche il moto dell'acqua in direzioni che divergono da quella principale della corrente, permettendo una rappresentazione decisamente superiore degli allagamenti rispetto ad un modello monodimensionale.

N.B. Al fine di evitare fraintendimenti, in questo Capitolo vengono definite "vasche di spagliamento arginate" i recapiti finali dei torrenti Rile e Tenore situati al centro dell'area modellata, realizzate negli anni '70 e dotate di proprie arginature interne. Si definisce invece "area di spagliamento" tutto il territorio esterno alle vasche di spagliamento arginate ma interno alle arginature esterne di conterminazione realizzate nei primi anni del 2000 a protezione di Gallarate e Busto Arsizio e oggetto di manutenzione in seno al presente progetto.

6.1.1. DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO

Il modello utilizzato per la propagazione delle onde di piena nel corso d'acqua analizzato è: "HEC-RAS River Analysis System", elaborato dall' Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers degli U.S.A. Si tratta di uno strumento di applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello contiene quattro componenti di analisi idraulica quali: analisi di moto permanente monodimensionale, simulazioni 1D e 2D in moto vario, simulazioni del trasporto solido, modellazione della temperatura dell'acqua e del trasporto dei costituenti.

Il modello bidimensionale di propagazione della piena, diversamente dal modello monodimensionale, è in grado di valutare la velocità della corrente lungo due direzioni principali, assi x e y appartenenti al piano orizzontale. Le equazioni di base per la propagazione della piena sono l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{DM}{dt} = 0$$

$$\frac{D\bar{Q}}{dt} = \int_V \bar{f} dV + \int_A \bar{\sigma} dA$$

Si tratta di un'equazione differenziale scalare (massa) e di un'equazione differenziale vettoriale (quantità di moto). Esplicitando le due equazioni si ricavano le espressioni di *Navier-Stokes*. Tuttavia, poiché le equazioni di *Navier-Stokes* descrivono il moto dei fluidi in tre dimensioni, sono state introdotte delle semplificazioni e, pertanto, le equazioni che sono di seguito riportate sono definite "*Shallow Water (SW) Equations*". Le semplificazioni prevedono che il fluido sia incomprimibile, la densità uniforme, la distribuzione delle pressioni idrostatica, che ci sia un'approssimazione del moto turbolento usando la viscosità turbolenta e che la lunghezza della scala verticale sia molto minore rispetto a quella orizzontale; quest'ultimo elemento implica che la velocità verticale sia molto piccola.

Equazione di continuità:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

Dove u e v sono le componenti della velocità, $\mathbf{V}=(u,v)$, rispettivamente in direzione x e y ;

H e h sono rispettivamente la quota piezometrica e il tirante idrico.

L'equazione della conservazione della quantità di moto, proiettata in direzione x e y , facendo le semplificazioni descritte precedentemente, si presenta come:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u$$

Dove:

g è l'accelerazione gravitazionale;

v_t è la viscosità turbolenta in direzione orizzontale;

c_f è il coefficiente d'attrito sul fondo dell'alveo;

f è il parametro che tiene conto dell'accelerazione di Coriolis.

Le equazioni possono essere risolte nella loro forma completa, *Full Momentum*, oppure, in condizioni ben specifiche, ovvero quando i termini legati alla gravità e all'attrito sono dominanti (si trascurano i termini non stazionari, gli sforzi tangenziali interni e l'effetto di Coriolis) le equazioni del moto possono essere sostituite da un'unica equazione la cui forma è definita "*Diffusion-Wave Form*". La diretta sostituzione di quest'ultima nell'equazione di conservazione della massa permette di ottenere la "*Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water Equations*".

Il modello bidimensionale è costituito da una griglia che prende il nome di mesh computazionale e che rappresenta la topografia per mezzo di celle interconnesse. La costruzione della mesh origina definendo i punti

che rappresentano il centro della cella, si procede poi con la triangolazione di Delaunay e con la decomposizione di Voronoi come mostrato in Fig. 4-1. La griglia non può avere più di 8 facce.

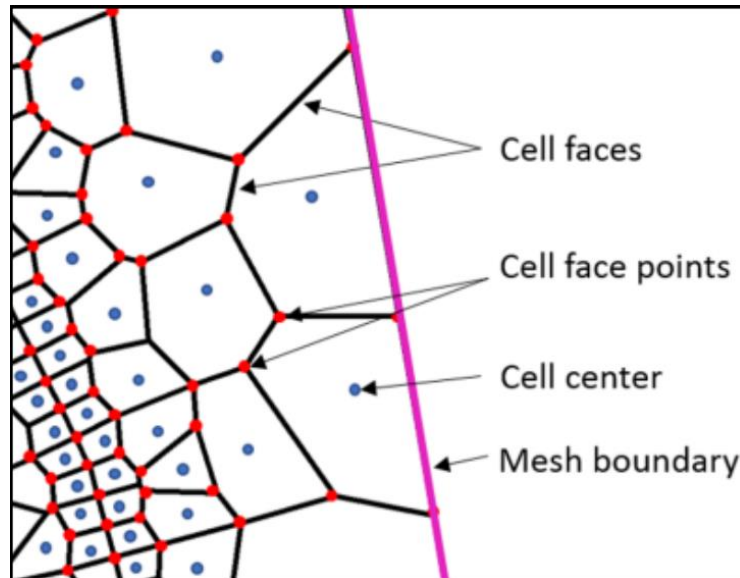


FIGURA 6-1 ESEMPIO DI UNA MESH DI CALCOLO IN AMBIENTE HEC-RAS

Una corretta scelta delle dimensioni della mesh di calcolo comporta una risoluzione migliore delle equazioni. Oltre a scegliere le dimensioni della mesh di calcolo viene definito anche il *time step di calcolo* tramite la condizione di Courant:

$$c = \frac{vel \Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{vel} \quad (c = 1)$$

Infine, la risoluzione delle equazioni sopra descritte, richiede anche la conoscenza delle condizioni al contorno e delle condizioni iniziali. Come condizioni al contorno è possibile inserire un idrogramma delle portate, un idrogramma dei livelli idrometrici o una scala delle portate. Come condizione iniziale si può assegnare il livello idrometrico (come condizione di default area asciutta).

6.2. QUADRO CONOSCITIVO TOPOGRAFICO

I dati morfologico-topografici utilizzati per lo studio in oggetto sono i seguenti:

- Modello Digitale del Terreno (DTM) realizzato dal MATTM realizzato nel 2008 con maglia 1x1m;
- Rilievo topografico dell'argine realizzato da GEO3 S.r.l. di Parma nel Luglio 2022;
- Rilievi topografici desunti dal Progetto Esecutivo dell'Argine (da HUPAC);
- Rilievi topografici desunti dal Progetto Esecutivo "Bretella di Gallarate" (da ANAS);

6.3. GEOMETRIA DEL MODELLO MATEMATICO

Il modello idraulico realizzato comprende interamente l'area di spagliamento dei torrenti Rile e Tenore racchiusa dagli argini di conterminazione, includendo anche i tratti terminali dei due corsi d'acqua fino al tratto immediatamente a monte del rilevato dell'Autostrada A8 come mostrato in Figura 6-2.

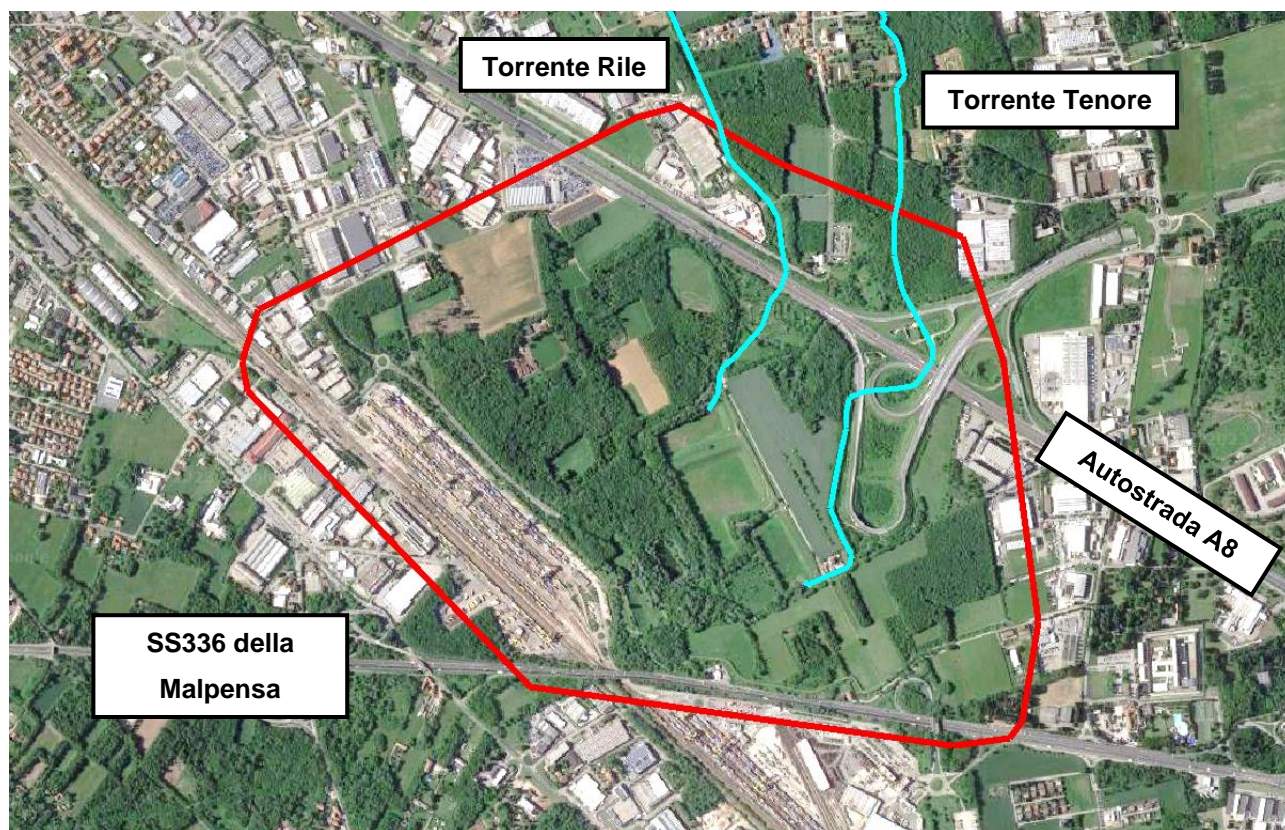


FIGURA 6-2 ESTENSIONE DELL'AREA MODELLATA

La geometria tridimensionale delle aste fluviali e delle aree di spagliamento sono topograficamente descritte nel dettaglio da un DTM avente precisione 1x1 m realizzato nel 2008 dal MATTM. Grazie alle funzionalità dello strumento "RAS-Mapper" del software HEC-RAS utilizzato per l'implementazione del modello, il DTM è stato aggiornato, inserendo manualmente le opere idrauliche di sistemazione dei Torrenti Rile e Tenore nel loro tratto finale, come i canali scolmatori e l'aggiornamento dei tracciati degli alvei a valle del rilevato dell'Autostrada A8, oltre alle infrastrutture viarie realizzate successivamente al rilievo LIDAR a disposizione.

Come accennato in precedenza, la geometria dei luoghi è schematizzata ai fini modellistici per mezzo di una mesh bidimensionale formata da celle di calcolo di dimensioni variabili e mutualmente interconnesse. Per questo studio è stata implementata una mesh di calcolo costituita da celle quadrate della dimensione di 5x5m, opportunamente infittita fino a 1x1m nei tratti in corrispondenza di elementi morfologici che necessitano di maggior dettaglio, come ad esempio rilevati arginali, come mostrato in Figura 6-3.

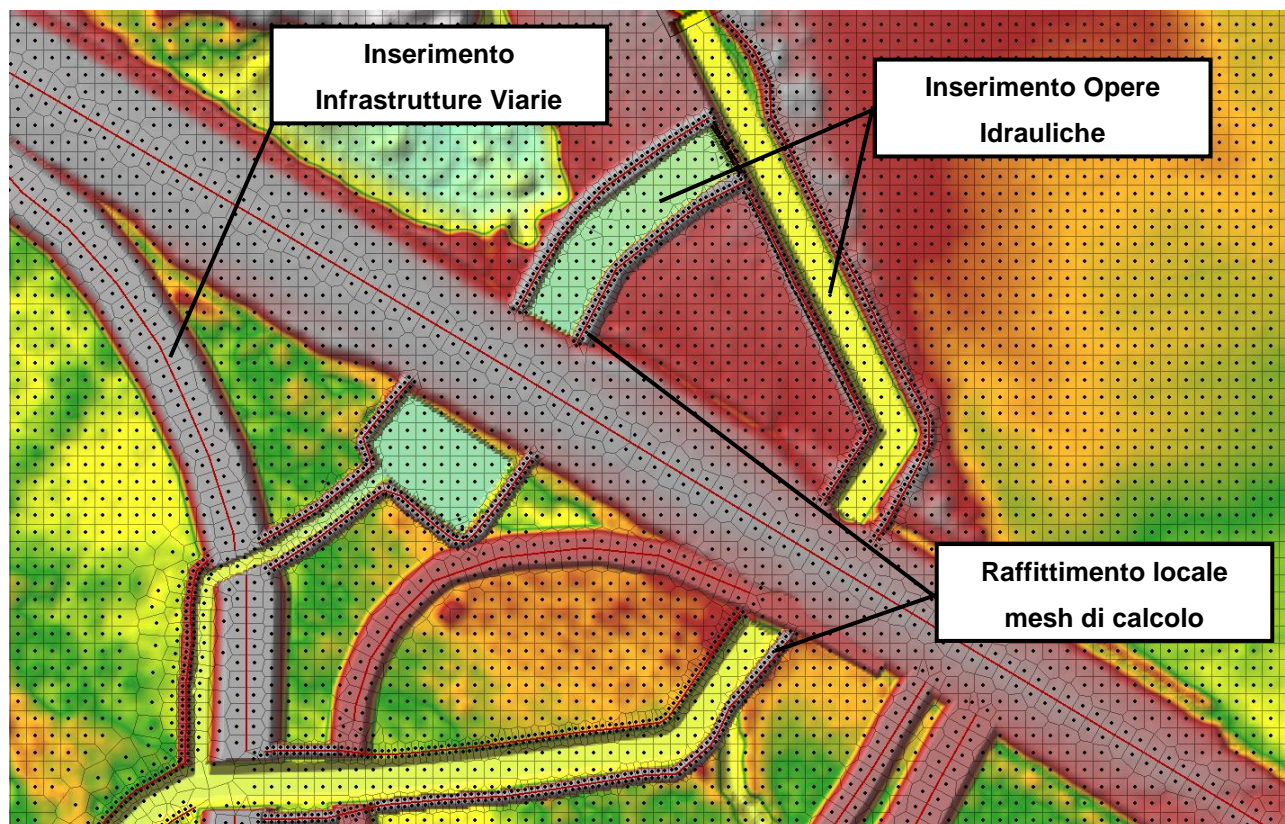


FIGURA 6-3 ESEMPIO DI MODIFICHE DEL DTM E DI RAFFITTIMENTO DELLA MESH DI CALCOLO

Il valore di scabrezza utilizzato per l'area considerata è stato valutato sulla base dei valori di letteratura ed è stato utilizzato un coefficiente di Strickler uniforme per l'intero dominio di calcolo pari a circa $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tale valore discende dai numerosi studi condotti dallo Studio scrivente nell'area modellata e risulta concorde con quelli assunti nella modellazione della medesima area nell'ambito di progettazioni non di competenza degli scriventi condotte da soggetti terzi.

La geometria del modello è stata poi ulteriormente raffinata inserendo manualmente le opere idrauliche di attraversamento del rilevato dell'Autostrada A8 non rilevabili dal sensore LIDAR e non descrivibili attraverso una modifica del DTM. Si riporta a titolo di esempio in la schematizzazione geometrica dello scatolare con cui il torrente Rile attraversa il rilevato autostradale

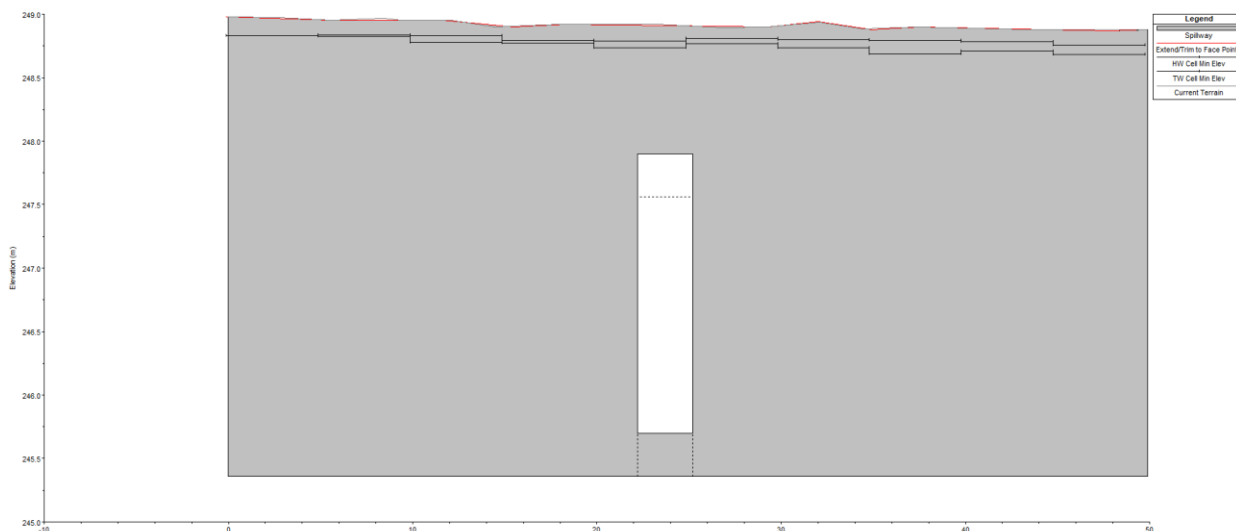


FIGURA 6-4 SCHEMATIZZAZIONE GEOMETRICA DELLO SCATOLARE CON IL QUALE IL TORRENTE RILE ATTRAVERSA IL RILEVATO DELL'AUTOSTRADA A8

6.4. CONDIZIONI AL CONTERNO

Il modello idraulico realizzato a supporto del Progetto delle opere in oggetto prevede l'inserimento di tre condizioni al contorno, due a monte ed una a valle. La condizione al contorno di valle è del tipo "Normal Depth" (condizione di moto uniforme) ed è imposta su tutto il perimetro esterno dell'area modellata a valle del rilevato dell'Autostrada A8. In questo modo si consente l'uscita dal dominio di calcolo dell'acqua che eventualmente sormonti o aggiri le arginature, così da evitare ristagni di acqua che incrementerebbero fittiziamente i tiranti idraulici.

Le due condizioni al contorno di monte consistono nell'imposizione di un idrogramma di piena (TR200 anni) per ciascuno dei due corsi d'acqua coinvolti. Gli idrogrammi sono imposti a monte del rilevato dell'Autostrada A8 così che si possa tenere adeguatamente conto dell'effetto degli scatolari di attraversamento dell'opera viaria e, conseguentemente, del volume perso a causa delle esondazioni prima dell'effettivo ingresso delle acque nell'area di spagliamento.

L'analisi idrologica condotta dagli Scriventi ha sostanzialmente confermato i risultati della medesima analisi condotta da ANAS nell'ambito del Progetto Esecutivo della "Bretella di Gallarate". In virtù di una continuità tra gli studi nell'area, verranno utilizzati per questo studio, almeno nella fase preliminare, i medesimi idrogrammi in ingresso. È importante tuttavia sottolineare che i sopracitati idrogrammi di piena risultano, cautelativamente, del tutto teorici in quanto derivano da una modellazione idrologica a scala di bacino che non tiene quindi conto della moltitudine di opere idrauliche (realizzate e previste) a monte delle aree di spagliamento volte alla riduzione del rischio idraulico dei centri abitati. Un esempio sono i cinque invasi di

laminazione realizzati lungo il torrente Rile. Inoltre, si è cautelativamente assunto che i picchi dei due torrenti siano contemporanei.

Tutto ciò premesso, è necessario tenere in considerazione la natura endoreica dei due torrenti, la quale prevede che le acque che raggiungono le aree di spagliamento percolino attraverso un terreno ad elevata conducibilità idraulica venendo quindi recapitate in falda. Dai risultati delle numerose campagne di indagini geognostiche condotte negli anni nell'area, effettuate sia dagli Scriventi nell'ambito della progettazione Esecutiva degli argini di conterminazione ad Ovest (lato Gallarate) e a Sud/Sud-Est (lato Busto Arsizio) che da ANAS nell'ambito del Progetto Esecutivo della Bretella di Gallarate, risulta che la permeabilità media dell'area di spagliamento è di circa $k=2.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Tale valore è stato ulteriormente validato a seguito della campagna di indagini geognostiche condotta nel segmento settentrionale dell'arginatura delle aree di spagliamento a supporto del presente Progetto.

Il software HEC-RAS utilizzato per la creazione del modello idraulico non consente attualmente il calcolo diretto delle perdite idrauliche per infiltrazione dovute al transito delle acque in alveo e nelle aree golenali. Nel caso in oggetto tuttavia, le perdite per infiltrazione rappresentano un fattore non trascurabile a causa della natura endoreica dei due torrenti. Si è quindi tenuto conto delle perdite per infiltrazione seguendo la seguente procedura:

1. Propagazione degli idrogrammi di piena TR200 risultanti dall'analisi idrologica;
2. Calcolo della superficie allagata esternamente alle vasche di spagliamento arginate ad intervalli orari fino al raggiungimento della massima di allagamento;
3. Calcolo del volume infiltrato in ogni intervallo temporale orario utilizzando la formula di Sieker per il calcolo della portata infiltrata;
4. Calcolo dell'idrogramma netto di piena sottraendo alle portate transitanti quelle infiltrate ad ogni intervallo considerato;
5. Propagazione degli idrogrammi di piena netti TR200 anni e valutazione dei massimi tiranti idraulici risultanti ai fini della validazione idraulica dell'opera.

Ai fini della modellazione sono state fatte le seguenti assunzioni riguardo al calcolo dei volumi infiltrati:

- Il valore della permeabilità media dell'area di spagliamento è stato cautelativamente ridotto a $k=2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ per tenere conto di una possibile variabilità spaziale del valore misurato puntualmente e di una lieve costipazione degli strati superficiali dovuta al susseguirsi di eventi straordinari che potrebbe verificarsi in futuro;
- Le superfici delle vasche di spagliamento arginate, delle aree a monte dell'Autostrada A8, dell'eco-filtro del torrente Rile e degli alvei incisi dei due torrenti sono state cautelativamente escluse dal calcolo

del volume infiltrato in quanto vengono allagate per tempi di ritorno nettamente inferiori e vengono quindi considerate come fortemente costipate;

- In virtù della conservatività del volume, la portata infiltrata ad ogni intervallo è stata sottratta prioritariamente all'idrogramma del torrente Tenore. Qualora la portata defluente risulti inferiore a quella infiltrata in un determinato istante, il surplus di portata infiltrata viene sottratto all'idrogramma del torrente Rile. Qualora la portata infiltrante superi la portata in ingresso complessiva dei due torrenti, si trascura cautelativamente il suo effetto di riduzione livelli idrometrici;
- Per il calcolo della portata infiltrata q in ogni intervallo temporale considerato è stata utilizzata la formula di Sieker:

$$q_f = k \cdot A_f \cdot j$$

Dove:

k è la permeabilità del terreno; A_f la superficie drenante; j è la cadente piezometrica, valutata come rapporto $\frac{(L_f+h)}{L_f}$, dove h è il tirante dell'allagamento rispetto al piano campagna e L_f è la distanza tra il piano campagna e la falda acquifera. Trovandosi quest'ultima a circa 30 m di profondità, si è cautelativamente assunto che il rapporto $\frac{(L_f+h)}{L_f}$ sia approssimabile a 1.

Si riporta in Figura 6-5 una planimetria che mostra l'andamento progressivo nel tempo delle aree allagate esternamente alle vasche di spagliamento arginate risultanti in occasione di un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni in assenza di perdite per infiltrazione.

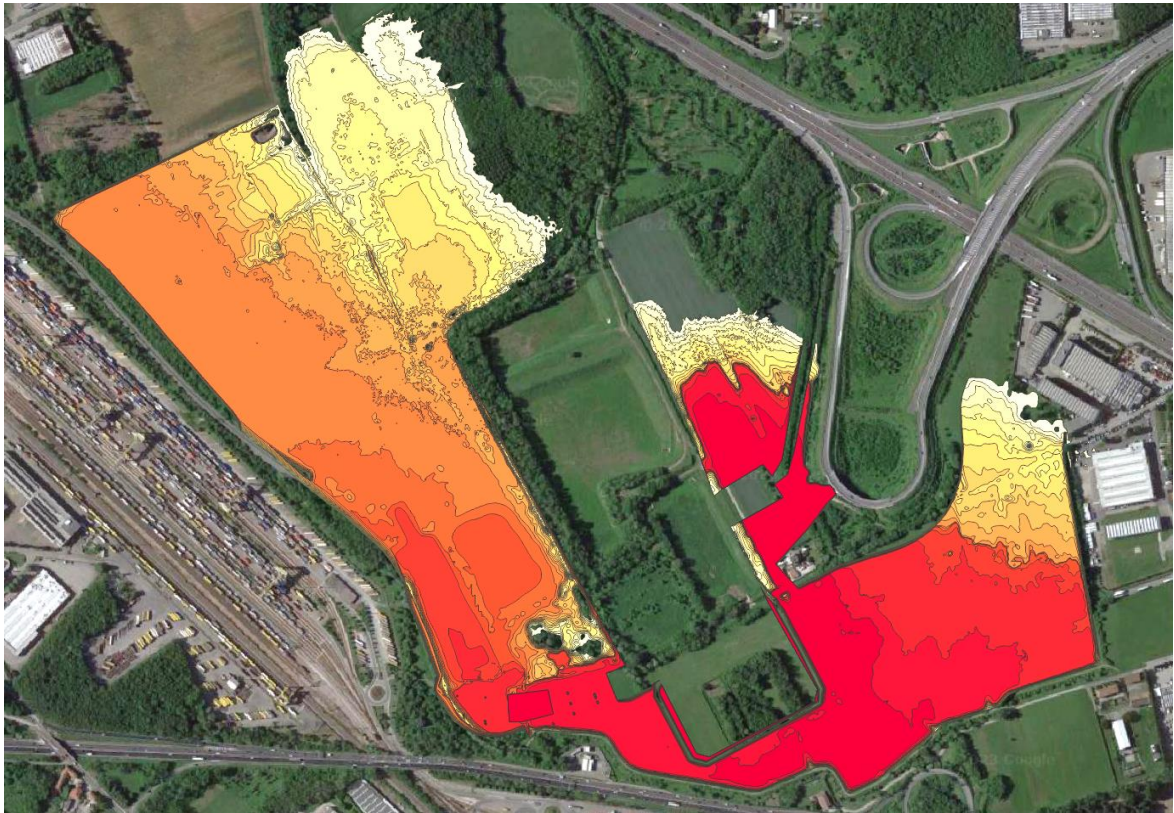


FIGURA 6-5 VISTA PLANIMETRICA DELL'ANDAMENTO PROGRESSIVO DELLE AREE ALLAGATE A SEGUITO DEL TRANSITO DI UN'ONDA DI PIENA DUECENTENNALE IN ASSENZA DI PERDITE PER INFILTRAZIONE UTILIZZATE PER IL CALCOLO DEI VOLUMI INFILTRATI

Quantificando per ogni intervallo di tempo considerato l'estensione delle aree allagate risultante si ottiene la curva Aree-Tempi caratteristica dell'area di spagliamento per un evento di piena duecentennale riportata in Figura 6-6. La massima estensione dell'area allagata risulta pari a circa 706,000 m², corrispondenti a 70.60ha, viene raggiunta dopo circa 37 ore dall'inizio dell'onda di piena.

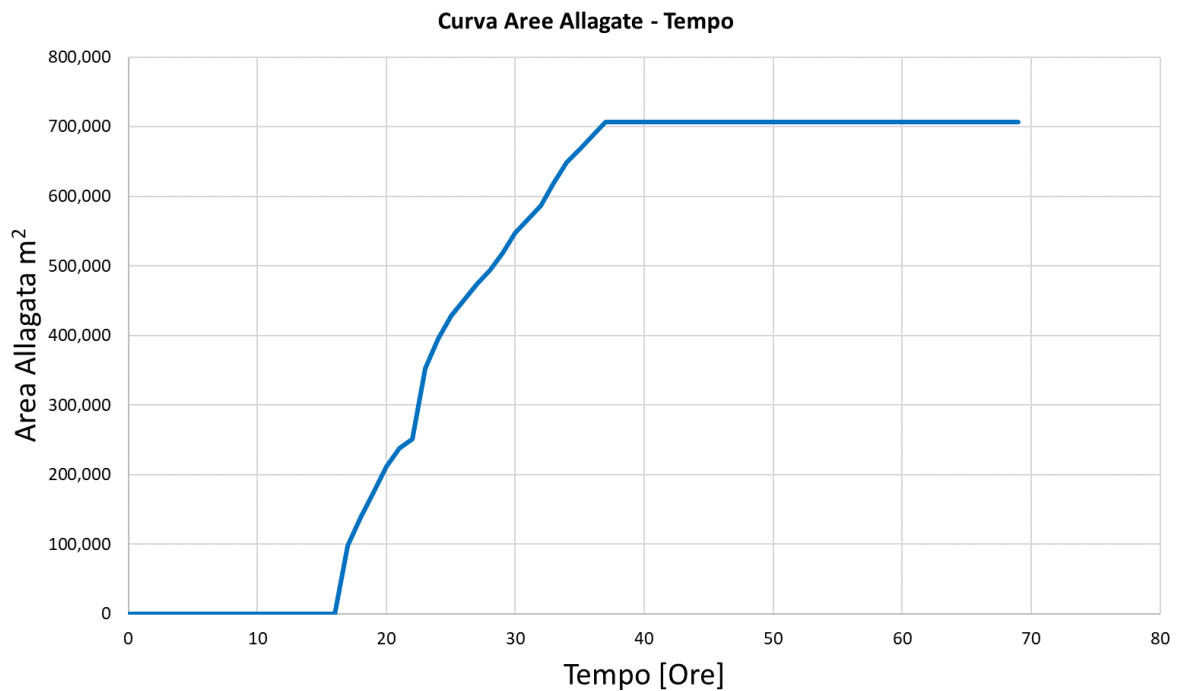


FIGURA 6-6 CURVA AREE ALLAGATE – TEMPO RISULTANTE A SEGUITO DEL TRANSITO DI UN’ONDA DI PIENA DUECENTENNALE IN ASSENZA DI PERDITE PER INFILTRAZIONE

Applicando la formula di Sieker si ottiene come detto la portata infiltrata per ogni intervallo di tempo considerato e, quindi, l'idrogramma di piena al netto delle perdite per infiltrazione. Il risultato di questa operazione è mostrato in Figura 6-7, mentre in Tabella 3 si riporta un riepilogo dei volumi degli idrogrammi di piena associati ad un tempo di ritorno di 200 anni al lordo ed al netto delle perdite per infiltrazione.

TABELLA 3 RIEPILOGO DEI VOLUMI DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA ASSOCIATI AD UN TEMPO DI RITORNO DI 200 ANNI AL LORDO ED AL NETTO DELLE PERDITE PER INFILTRAZIONE

	Volume Defluito Lordo [Mm ³]	Volume Defluito Netto [Mm ³]	Volume Infiltrato [Mm ³]
T. Tenore	1.90	0.83	1.06
T. Rile	1.05	1.03	0.02
Totale	2.95	1.87	1.08

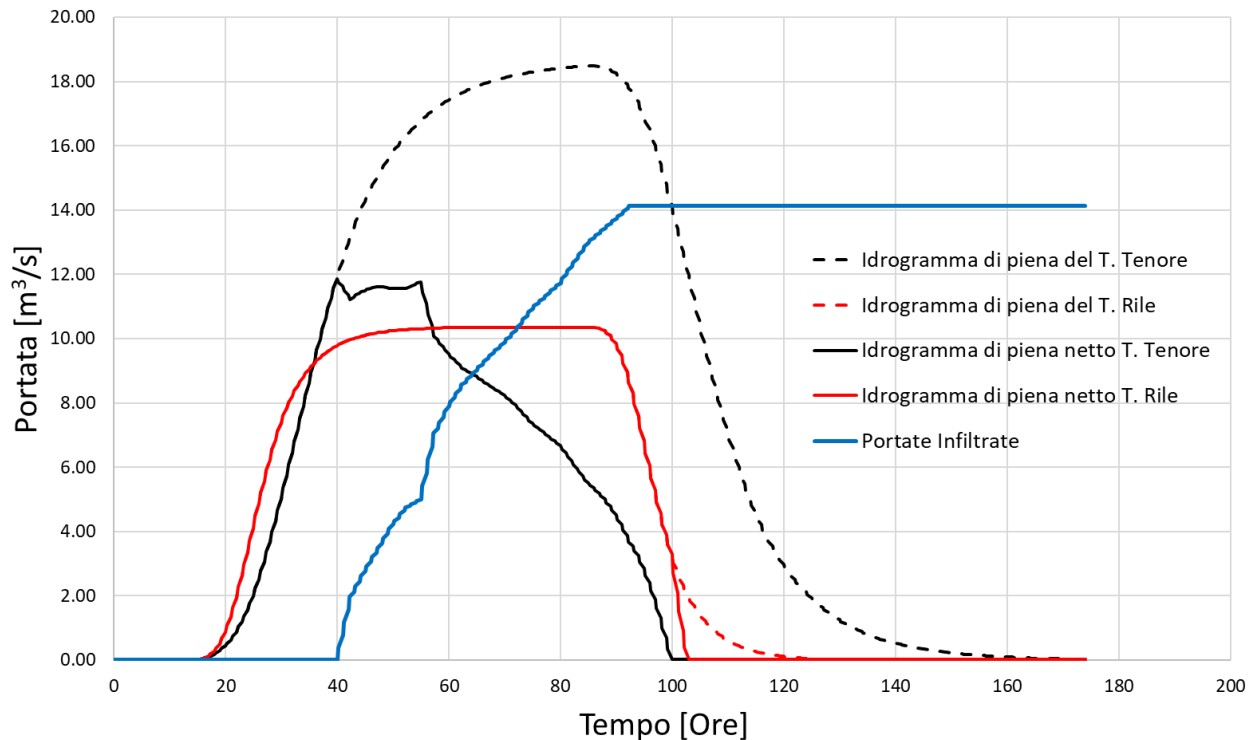


FIGURA 6-7 CONFRONTO TRA IDROGRAMMI DI PIENA DEI TORRENTI RILE E TENORE AL LORDO ED AL NETTO DELLE PERDITE PER INFILTRAZIONE

6.5. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

In questo paragrafo si riportano sinteticamente i risultati della modellazione idraulica condotta per la verifica dell'efficienza delle opere una volta terminati gli interventi di manutenzione straordinaria volte a ripristinarne le caratteristiche originarie. La simulazione idraulica condotta prevede la propagazione di un idrogramma di piena per i torrenti Rile e Tenore associati ad un tempo di ritorno pari a 200 anni tenendo conto delle perdite di infiltrazione che si generano all'interno dell'area di spagliamento.

Nelle prime ore di simulazione, le acque in ingresso vengono raccolte all'interno delle vasche di spagliamento arginate ove rimangono confinate fino a circa 17 ore dall'inizio dell'evento, istante in cui il livello idrico è tale da causare il rigurgito del torrente Tenore, dando inizio all'allagamento del segmento Sud dell'area di spagliamento come mostrato in Figura 6-8. Passate 24 ore dall'inizio dell'evento, l'allagamento si è propagato verso Nord lambendo il piede dell'argine occidentale (lato Gallarate) lungo tutto il suo sviluppo come si può osservare in Figura 6-9.



FIGURA 6-8 ESTENSIONE DELLE AREE ALLAGATE DOPO 17 ORE DALL'INIZIO DELL'EVENTO

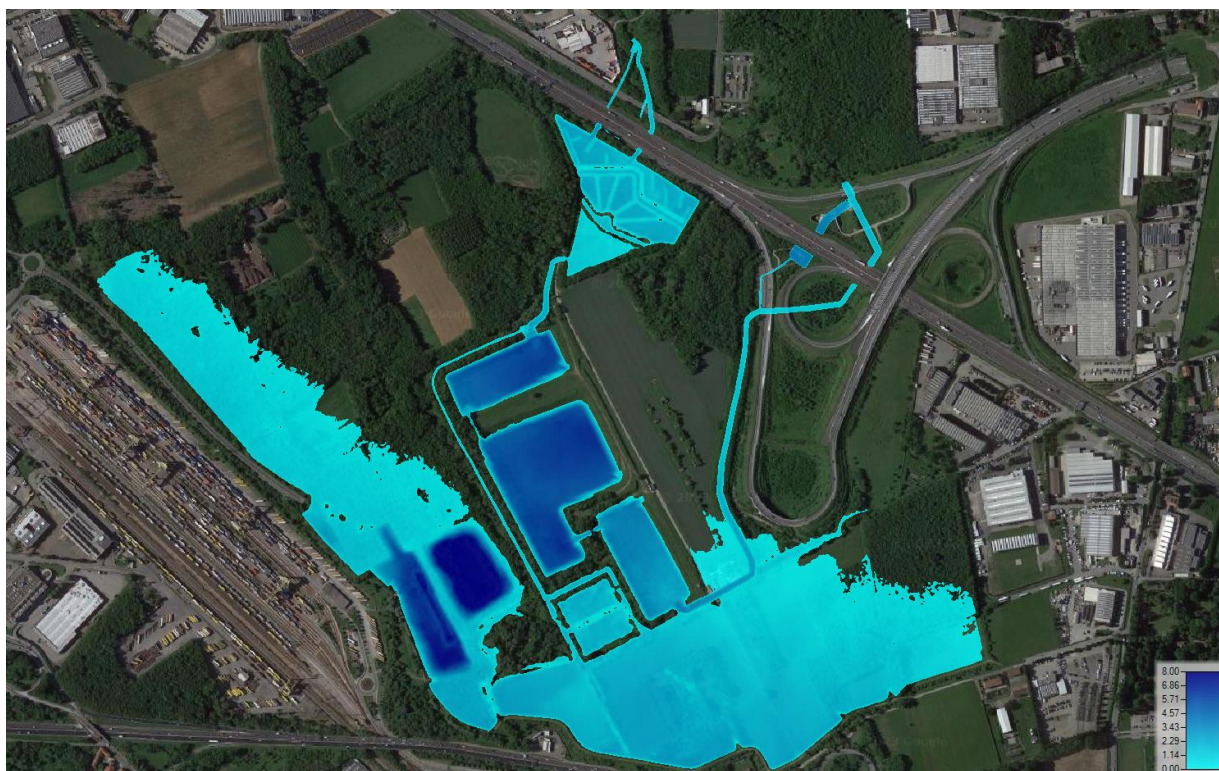


FIGURA 6-9 ESTENSIONE DELLE AREE ALLAGATE DOPO 24 ORE DALL'INIZIO DELL'EVENTO

Trattandosi di un sistema chiuso, il massimo dell'allagamento viene raggiunto al termine dell'evento simulato (durata 42 ore). In Figura 6-10 si riporta l'estensione massima delle aree allagate a seguito di un evento con TR 200 anni considerando le perdite per infiltrazione.

Il livello idrico massimo raggiunto dall'acqua all'interno dell'area di spagliamento è uniformemente distribuito ed è pari a 244.04 m s.l.m. mentre la quota di progetto di coronamento delle arginature di conterminazione è pari 244.70 m s.l.m. le quali espongono pertanto un franco idraulico di 64 cm.

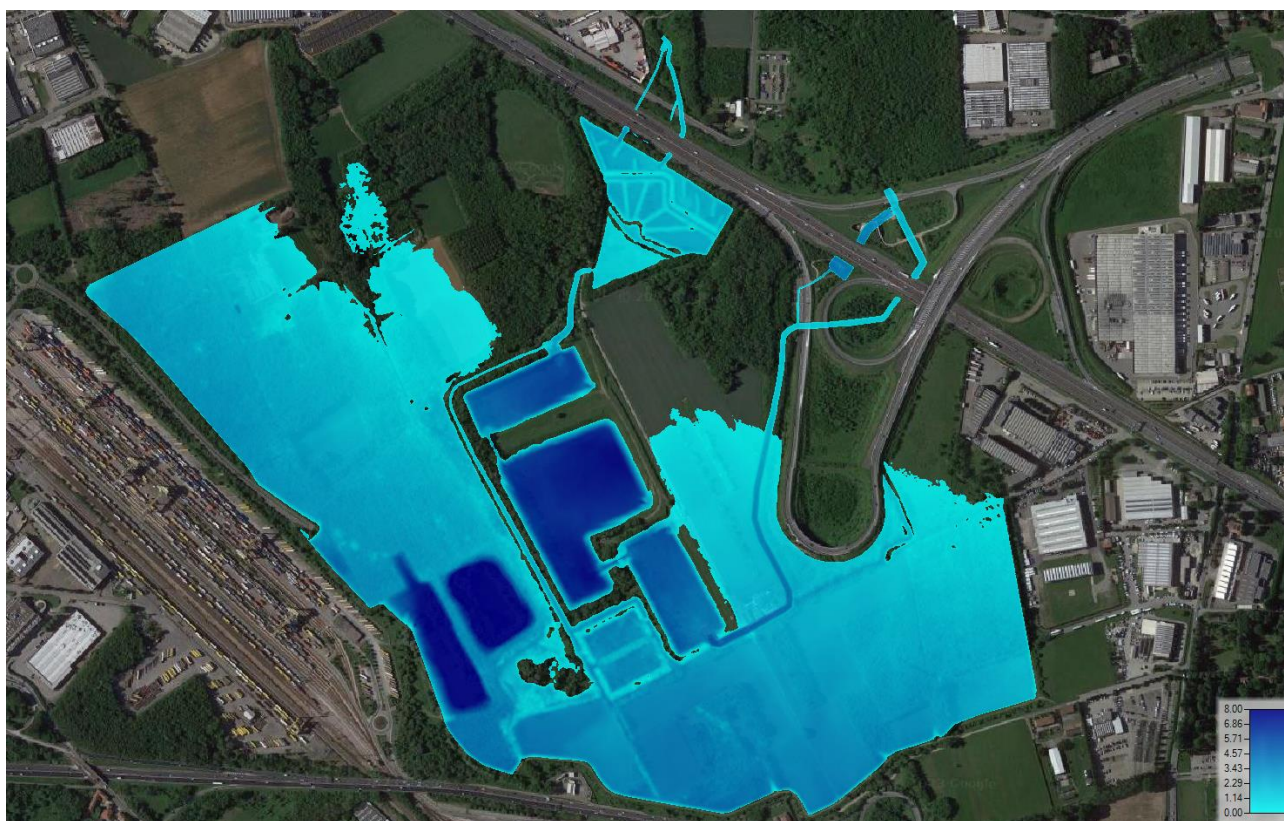


FIGURA 6-10 MASSIMA ESTENSIONE DELLE AREE ALLAGATE A SEGUITO DI UN EVENTO CON TR 200 ANNI CONSIDERANDO LE PERDITE PER INFILTRAZIONE