

**E78 GROSSETO - FANO**  
**Tratto Nodo di Arezzo – Selci – Lama (E45) –**  
**Palazzo del Pero – Completamento**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**FI 509**

**ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

<p><b>IL GEOLOGO</b></p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541</p>	<p><b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b></p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35011</p>	<p><b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria) <b>GPI INGEGNERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfilì</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Matteo Bordugo</i> Ordine Ingegneri Provincia di Pordenone al n. 790A</p>	<p>(Mandante)</p> <p><b>cooprogetti</b></p> <p><b>engeko</b></p> <p><b>AIM</b> <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p>
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Ing. Francesco Pisani</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><b>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b></p>
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</b></p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> <p><b>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</b> <b>ORDINE INGEGNERI</b> <b>ROMA</b> <b>N° 14035</b></p>

**STUDI E INDAGINI**  
Idrologia e idraulica  
Relazione idrologica

<p><b>CODICE PROGETTO</b></p> <p>PROGETTO      LIV.PROG    ANNO</p>	<p><b>NOME FILE</b></p> <p>TOOID00IDRRE01_A</p>	<p><b>REVISIONE</b></p>	<p><b>SCALA</b></p>
<p><b>DPAN259</b>    <b>D</b>    <b>21</b></p>	<p><b>CODICE ELAB.</b>    T O O I D 0 0 I D R R E 0 1</p>	<p><b>A</b></p>	<p>-</p>
<p><b>D</b></p>			
<p><b>C</b></p>			
<p><b>B</b></p>			
<p><b>A</b></p>	<p><b>Emissione</b></p>	<p><b>Maggio '22</b></p>	<p><b>Capponi</b></p>
<p><b>REV.</b></p>	<p><b>DESCRIZIONE</b></p>	<p><b>DATA</b></p>	<p><b>REDATTO</b></p>
<p><b>VERIFICATO</b></p>	<p><b>APPROVATO</b></p>	<p><b>Panfilì</b></p>	<p><b>Guiducci</b></p>

## INDICE

<b>1. <u>PREMESSA</u></b> .....	<b>2</b>
<b>2. <u>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO</u></b> .....	<b>2</b>
2.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	2
2.2. BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE MAESTRO DELLA CHIANA .....	3
2.1. BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO SELLINA .....	3
<b>3. <u>DEFINIZIONE DEGLI AFFLUSSI METEORICI</u></b> .....	<b>4</b>
3.1. REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME .....	4
3.1. DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE A 30 MINUTI.....	5
3.2. ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE .....	6
<b>4. <u>INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI</u></b> .....	<b>6</b>
<b>5. <u>DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO</u></b> .....	<b>7</b>
5.1. CANALE MAESTRO DELLA CHIANA.....	7
5.1.1. <i>Analisi statistico probabilistica della serie storica delle portate di piena della stazione idrometrografica chiana-ponte ferrovia</i> .....	7
5.1.2. <i>Riduzione delle portate di piena alla sezione di interesse</i> .....	11
5.2. BACINI IDROGRAFICI MINORI INTERFERENTI CON LE OPERE DI PROGETTO.....	11
5.2.1. <i>Tempo di corrivazione</i> .....	13
5.2.2. <i>Coefficiente di deflusso</i> .....	14
5.2.3. <i>Ietogramma di progetto</i> .....	17
5.2.4. <i>Trasformazione della pioggia efficace in deflusso</i> .....	18
5.2.5. <i>Metodo razionale</i> .....	18
<b>6. <u>RISULTATI DELL'ANALISI IDROLOGICA</u></b> .....	<b>20</b>
6.1. BACINI DEI CORSI D'ACQUA MINORI APPARTENENTI AL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE ...	20
6.1.1. <i>Bacini "TORRENTE VINGONE SAN GIULIANO - TORRENTE LOTA"</i> .....	20
6.1.2. <i>Bacini "SAN ZENO"</i> .....	23
6.1.3. <i>Bacini "RIO DELLE QUERCE"</i> .....	25
6.1.4. <i>Bacini "RIO DELL'OLMO"</i> .....	27
6.1.5. <i>Bacini "RIO DI SANT'ANTONIO"</i> .....	28
6.1.6. <i>Bacini "RIO DI RIOLO"</i> .....	30
6.1.7. <i>Bacini "FOSSATONE1_IA e FOSSATONE1_IB"</i> .....	32
6.1.8. <i>Bacini "FOSSO SELLINA – T. VINGONE"</i> .....	33
6.1.1. <i>Bacini afferenti ai fossi di guardia e al sistema di drenaggio della piattaforma stradale</i> .....	35
<b>7. <u>ALLEGATI – SOFTWARE HEC-HMS</u></b> .....	<b>36</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione idrologica è stata redatta a supporto del contratto applicativo stipulato con Anas S.p.A. per la Progettazione Definitiva dell'intervento "*E 78 Grosseto – Fano, Tratto Nodo di Arezzo - Selci - Lama (E 45) – Palazzo del Pero - Completamento*".

Lo studio è mirato a fornire:

- l'inquadramento idrologico del territorio interessato dall'opera e le caratteristiche del reticolo idrografico da questa interferito;
- la definizione delle curve di possibilità pluviometrica mediante i più recenti studi idrologici effettuati a supporto della pianificazione urbanistica (nuovo Piano Strutturale e primo Piano Operativo del Comune di Arezzo, approvati con Del. C.C. 134 del 30/09/2021);
- la stima delle portate al colmo di eventi di piena per diversi tempi di ritorno, in corrispondenza delle sezioni di attraversamento ed in generale, di interferenza con il reticolo idrografico necessarie al dimensionamento corretto delle opere di risoluzione idraulica (ponti e tombini);
- la definizione delle portate di progetto per il corretto dimensionamento e verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna.

## **2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO**

### **2.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del Canale Maestro della Chiana, che il tracciato della variante esterna SR71-SR72 e raccordo A1 attraversa mediante viadotto.

Altri bacini minori interferiti sono i seguenti:

- Fosso Sellina;
- Rio dell'Olmo;
- Rio di Sant'Antonio;
- Rio di Riolo;
- Rio delle Querce;
- Torrente Lota;
- Torrente Vingone (2) di San Giuliano.

Un carattere geomorfologico diffuso nei settori di pianura è la presenza di alvei pensili, ovvero di alvei fluviali in posizione topografica uguale o più elevata rispetto alla piana circostante; questi si originano a causa della presenza di argini naturali o artificiali, in tratti fluviali soggetti a marcata sedimentazione ed alluvionamento. Spesso le arginature vengono realizzate o rialzate artificialmente per evitare i fenomeni di esondazione del corso d'acqua; questo determina un incremento di sedimentazione all'interno dell'alveo innalzando progressivamente il suo fondo fino a trovarsi in posizione sempre più elevata rispetto al piano di campagna adiacente. Questa configurazione geomorfologica degli alvei, ben rappresentata dal Fosso Sellina nel settore sud-occidentale dell'area urbana di Arezzo, costituisce una condizione di elevata criticità idraulica ed una minaccia costante per le infrastrutture e gli insediamenti presenti.

Anche i canali che drenano la Val di Chiana costituiscono sistemi di drenaggio soggetti a fenomeni di colmata detritica e di esondazione a partire dalla rottura di pendio concava che delimita la fascia pedemontana con la Piana, dove avviene una riduzione di energia del corso d'acqua e una

PROGETTAZIONE ATI:

conseguente deposizione sedimentaria. Gli alvei, nel passaggio dal settore collinare a quello pedecollinare, passano da una configurazione geomorfologica confinata, con prevalente prelievo e trasporto di materiale detritico, ad una semiconfinata, con processi dominanti di trasporto e sedimentazione detritica in alveo. Tra questi corsi d'acqua ad andamento sub-parallelo che drenano la Val di Chiana, in destra idrografica del Canale Maestro, quelli di particolare interesse per le interferenze con le infrastrutture di progetto di cui trattasi sono, procedendo da nord verso sud: Rio delle Querce; Fosso dell'Olmo – Rio di S. Antonio; Rio di Riolo.

## **2.2. BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE MAESTRO DELLA CHIANA**

Il Canale Maestro della Chiana costituisce un'importante opera di ingegneria idraulica realizzata durante la grande bonifica della Val di Chiana, avvenuta principalmente tra il XVI e il XIX secolo. In tale lento processo, tra il 500 e la prima metà dell'ottocento (bonifiche medicee e lorenese), l'antico "Clanis" ha visto invertire il suo corso, passando da tributario del Tevere, tramite il fiume Paglia, ad affluente diretto del fiume Arno. Nel corso di alcuni secoli l'estensione del bacino scolante in Arno, tramite la Chiana, passò da qualche centinaio di Km<sup>2</sup> ad oltre 1300 Km<sup>2</sup>. Oggi il Canale Maestro raccoglie le acque dei corsi d'acqua dell'intera Val di Chiana settentrionale (Bacino Idrografico dell'Arno), la quale ha origine dall'Argine di Separazione del 1780 (posto tra Chiusi e Po' Bandino) e dalle chiuse meccanizzate sui torrenti Moiano, Maranzano, Rio Maggiore e Tresa (immissari del Lago Trasimeno tramite il Canale Anguillara) il cui corso, tramite un complesso sistema idraulico, durante le piene può essere deviato verso il Lago di Chiusi il quale, ricevute le acque di vari immissari (tosco-umbri), ha come emissario il Canale di Comunicazione che alimenta il Lago di Montepulciano. Il Canale Maestro della Chiana ha origine dal Lago di Montepulciano e, dopo aver percorso 62 km, confluisce nell'Arno (di cui è affluente di sinistra) nei pressi delle località di Monte Sopra Rondine e di Ponte Buriano, nel Comune di Arezzo. I suoi principali tributari, tutti a regime torrentizio, sono da sinistra il Parce, il Salarco, il Salcheto, la Foenna e l'Esse di Foiano della Chiana e da destra il Mucchia, la Fossetta, l'Esse di Cortona, il canale di Montecchio Nuovo, il Torrente Vingone e il Castro.

## **2.1. BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO SELLINA**

Il Fosso Sellina, tributario indiretto del Canale Maestro della Chiana, scorre all'interno del territorio del Comune di Arezzo, in direzione Sud/Est - Nord/Ovest. Esso ha origine dalle pendici nord-ovest del Monte Lignano, ad una quota di circa 700 m s.l.m., scorre per un primo tratto in area boscata con pendenze del fondo elevate e successivamente attraversa un'area rurale lambendo gli agglomerati di San Marco, Villalba, Gaville e Santa Firmina. Il fosso Sellina risulta arginato per una lunghezza di circa 1,1 km a monte della linea ferroviaria Firenze Roma.

Il reticolo minore di "acque basse" (che si differenzia da quello di "acque alte" costituito dagli alvei pensili) delle aree campestri comprese tra il Sellina ed il Torrente Vingone a monte della linea ferroviaria e della E78 scolano in direzione Sud/Est – Nord/Ovest, parallelamente ai due predetti corsi d'acqua principali, afferendo a due fossi minori. Uno di questi (privo di identificazione nel reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012) dopo aver oltrepassato la linea ferroviaria piega in direzione ovest e, sottopassato il fosso Sellina in via Padre Teodosio, prosegue tombato fino ad immettersi nel Fossatone. L'altro (denominato AV 20340 nel reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012) confluisce invece nel Torrente Vingone.

È inoltre opportuno osservare come, stante la conformazione morfologica del territorio a monte della linea ferroviaria Firenze Roma, priva di un effettivo fondovalle, l'allagabilità di questa area sia determinata dai potenziali fronti di esondazione derivanti, oltre che dal fosso Sellina, anche dal torrente Vingone, nonché dal rio Valtina e dai citati fossi minori appartenenti al sistema di acque basse.

Siamo in presenza di un complesso sistema idrografico in cui cospicui volumi di esondazione possono fuoriuscire, già per tempi di ritorno trentennali, dai corsi d'acqua appartenenti sia al sistema delle "acque alte" che a quello delle "acque basse"; dopo aver allagato buona parte della

PROGETTAZIONE ATI:

piana a monte della Ferrovia, detti volumi di esondazione rientrano in buona parte nel torrente Vingone, mentre in misura minore riaffluiscono nel Fossatone.

### 3. DEFINIZIONE DEGLI AFFLUSSI METEORICI

La valutazione delle intensità di precipitazione viene svolta con diversi metodi, in funzione dei dati disponibili. In mancanza di serie di dati di pioggia o di portata registrati, in molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti “metodi di regionalizzazione”, attraverso i quali è possibile valutare le portate di piena in riferimento a parametri idrologici caratteristici dei bacini in esame.

#### 3.1. REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

La caratterizzazione pluviometrica di una data zona consiste nella definizione, attraverso analisi statistica, delle cosiddette curve di caso critico o curve di possibilità pluviometrica, le quali forniscono, per un assegnato valore del tempo di ritorno, la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione (o la relativa intensità di precipitazione). Queste relazioni manifestano un andamento caratteristico, con l'altezza di pioggia che cresce meno che proporzionalmente con l'intervallo di riferimento e con l'intensità che tende a un valore finito elevato quando l'intervallo tende a zero e ad un valore piccolo, ma non nullo, quando l'intervallo diventa molto lungo.

Nel presente studio, peraltro coerentemente allo studio idrologico eseguito a supporto del nuovo PS e PO del comune di Arezzo, per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) o linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) associate ai diversi tempi di ritorno è stata utilizzata la relazione monomia che lega l'altezza di pioggia  $h$  [mm] alla durata della precipitazione  $d$  [ore] e al tempo di ritorno  $T$ :

$$h = a \cdot d^n$$

dove i parametri  $a$  e  $n$  sono desunti, in funzione del tempo di ritorno, dallo studio promosso dalla Regione Toscana con DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, con il quale si è provveduto ad aggiornare l'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze). I dati pluviometrici sono liberamente consultabili nel sito della Regione Toscana nella sezione dedicata alla Difesa del Suolo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Ad oggi le nuove LSPP sono state ricavate per durate di precipitazione  $d \geq 1$  ora ma, secondo le indicazioni fornite dagli estensori dello studio, sono estrapolabili con buona attendibilità fino a  $d \geq 0.5$  ore.

Dal sito della Regione Toscana è possibile scaricare l'andamento spaziale dei parametri  $a$  e  $n$  con griglia di 1 km x 1 km per ciascuno dei tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni, desunto a partire dall'analisi TCEV delle altezze di pioggia osservate. I risultati resi disponibili in formato ASCII Grid. La Figura 3-1 mostra, a titolo di esempio, le griglie dei parametri  $a$  e  $n$  per il tempo di ritorno di 200 anni nell'intera regione.

Le espressioni della curva di possibilità pluviometrica utilizzate nello studio a supporto del PS del Comune di Arezzo sono le seguenti:

$$\begin{aligned} TR = 30 \text{ anni} \quad h &= 54.11 d^{0.24} \\ TR = 200 \text{ anni} \quad h &= 73.31 d^{0.29} \end{aligned}$$

Per quanto riguarda invece il tempo di ritorno pari a 50 anni la curva di possibilità pluviometrica assume la seguente espressione:

$$TR = 50 \text{ anni} \quad h = 59.27 d^{0.26}$$



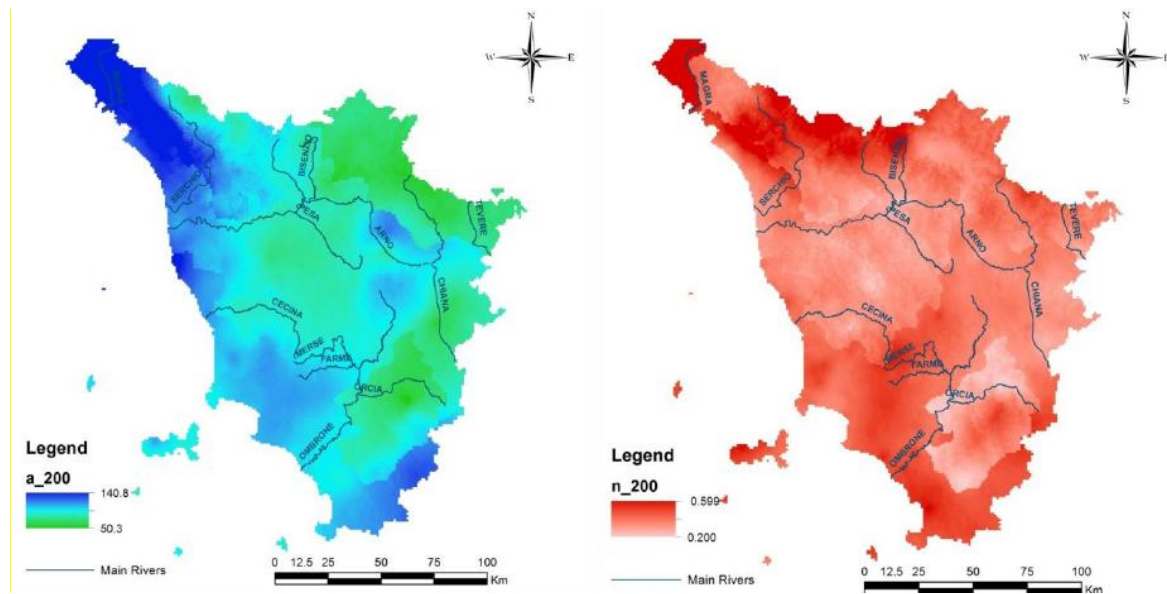


Figura 3-1: Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (a sinistra) e "n" (a destra) della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

### 3.1. DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE A 30 MINUTI

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma.

Come anticipato, le LSPP regionali sono state ricavate per durate di precipitazione  $d \geq 1$  ora ma, secondo le indicazioni fornite dagli estensori dello studio, sono estrapolabili con buona attendibilità fino a  $d \geq 0.5$  ore.

Nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma si è scelto di ricavare le massime altezze di pioggia di durata inferiore a 30 minuti a partire dal dato disponibile delle altezze massime di durata oraria prendendo a riferimento studi effettuati in altre località italiane. È noto infatti da letteratura [Bell, 1969] che i rapporti  $r_\delta$  tra le altezze di durata  $\delta$  molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora mediante l'utilizzo di un opportuno coefficiente correttivo, denominato nel seguito  $r_\delta$ . Tale coefficiente può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare i pluviografi di Milano Monviso e Roma Macao (vedi "Sistemi di fognatura Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Tabella 1: Coefficienti riduttivi pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993)

Durata (min)	5	10	15	20	25	30
$r_\delta$	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

Tabella 2: Coefficienti riduttivi pluviografo di Milano Monviso (Piga et al., 1990)

Durata (min)	5	10	15	30
$r_\delta$	0.322	0.489	0.601	0.811

Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica, per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969).

Bell ha osservato che i rapporti  $r\delta$  tra le altezze di durata  $\tau$  molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati dove il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h$  di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno  $T$ , è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con  $f$  un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50$$

In cui  $t$  è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti.

### **3.2. ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE**

È comune esperienza che le piogge di elevata intensità si concentrino in aree piccole, e che, a parità di durata e a parità di tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione decresca al crescere dell'area.

Tuttavia, stanti le modeste estensioni areali dei bacini in esame (ad eccezione del bacino idrografico del Canale Maestro della Chiana), cautelativamente, non è stato applicato alcun coefficiente di riduzione areale.

## **4. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI**

Per la determinazione delle portate di progetto sono stati inizialmente individuati i bacini afferenti alla nuova infrastruttura di progetto in corrispondenza dei punti di intersezione tra quest'ultima ed i corsi d'acqua ad essa interferenti (si vedano elaborati T00.ID.00.IDR.CO.01, T00.ID.00.IDR.CO.02 e T00.ID.00.IDR.CO.03 relative alle corografie dei bacini).

I dati utilizzati per la definizione dei sottobacini e delle loro caratteristiche vengono di seguito elencati:

- modello digitale del terreno disponibile nel Sistema Informativo territoriale Regionale della Regione Toscana;
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- tematismo del Curve Number (CN) in formato shapefile redatto durante lo studio idrologico a supporto del PS del Comune di Arezzo. Per i bacini non compresi nel detto studio idrologico, si è utilizzato lo shape file predisposto per l'intero territorio regionale dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli studi di Firenze (DICEA, referente Prof. Fabio Castelli), liberamente consultabile all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>.

Per tutti i bacini oggetto del presente studio sono state determinate, attraverso l'uso di un software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, le distribuzioni rispetto alle superfici dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche necessarie alla redazione del presente studio idrologico, riportate nei seguenti paragrafi.

## **5. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO**

### **5.1. CANALE MAESTRO DELLA CHIANA**

La stima delle portate di piena nel Canale Maestro della Chiana per il tempo di ritorno di progetto, pari a 200 anni, stante la disponibilità di un'ampia serie storica delle portate al colmo misurate alla stazione idrometrografica denominata "Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma", è stata effettuata mediante un procedimento inferenziale basato sulla distribuzione di Gumbel del 1° tipo applicata ai suddetti dati, ufficialmente pubblicati negli annali idrologici del Servizio Idrografico di Pisa ed integrata, per i dati più recenti, presso gli Uffici dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Ovviamente, poiché la sezione di chiusura del bacino del Canale Maestro di nostro interesse si trova presso la linea ferroviaria Direttissima, circa 2 Km più a monte di quella della stazione idrometrografica, è stato necessario adeguare il valore delle portate al colmo ottenuto dallo studio della serie predetta in relazione alla minore estensione del bacino imbrifero che presso l'intersezione con l'infrastruttura di progetto vale circa 1229 Km<sup>2</sup> contro i 1272 Km<sup>2</sup> sottesi alla sezione dell'idrometro. Tale adeguamento è stato condotto applicando la nota formula di Gherardelli modificata da Marchetti.

#### **5.1.1. ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA DELLA SERIE STORICA DELLE PORTATE DI PIENA DELLA STAZIONE IDROMETROGRAFICA CHIANA-PONTE FERROVIA**

Per la stima della portata di piena è stata analizzata una serie discontinua di portate al colmo composta da 70 osservazioni distribuite tra gli anni 1926 e 2011 (mancano i valori dal 1943 al 1951 inclusi, il 1953, il 1973, il 1977 e dal 1979 al 1982 inclusi) e misurate dal Servizio Idrografico e Mareografico di Pisa alla sezione denominata "Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma" che è situata subito a monte della Chiusa dei Monaci.

Le principali caratteristiche del bacino del Canale Maestro alla sezione dell'idrometro sono riportate in Tab.1 (Fonte: Annali idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico di Pisa).

<i>Tabella I: Canale della Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma</i>	
<i>Bacino di dominio</i>	<i>1272 Km<sup>2</sup></i>
<i>Parte prevalentemente permeabile</i>	<i>3%</i>
<i>Altitudine massima</i>	<i>1056 m.s.m.</i>
<i>Altitudine media</i>	<i>409 m.s.m.</i>
<i>Zero idrometrico</i>	<i>229.80 m.s.m.</i>

La serie storica dei massimi valori annuali di portata al colmo è riportata nella seguente Tabella II.

*Tabella II: Serie storica di portate al colmo del Canale Maestro della Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma*

<i>Anno</i>	<i>Q [mc/s]</i>	<i>Anno</i>	<i>Q [mc/s]</i>
<i>1926</i>	<i>123</i>	<i>1971</i>	<i>96</i>



**IDROLOGIA E IDRAULICA – RELAZIONE IDROLOGICA**

1927	133	1972	96
1928	567	1974	207
1929	513	1975	229
1930	227	1976	242
1931	386	1978	234
1932	405	1983	418
1933	420	1984	140
1934	440	1985	98
1935	422	1986	259
1936	185	1987	297
1937	379	1988	92
1938	357	1989	26
1939	533	1990	112
1940	151	1991	208
1941	280	1992	208
1942	202	1993	62
1952	140	1994	31
1954	216	1995	79
1955	278	1996	151
1956	251	1997	368
1957	358	1998	88
1958	285	1999	56
1959	414	2000	242
1960	326	2001	140
1961	261	2002	94
1962	146	2003	110
1963	302	2004	162
1964	282	2005	181
1965	265	2006	196
1966	326	2007	12
1967	106	2008	216
1968	305	2009	110
1969	215	2010	212
1970	164	2011	115

PROGETTAZIONE ATI:

Secondo la legge di Gumbel<sup>1</sup> del 1° tipo (*legge asintotica del massimo valore*), indicato con  $x$  il generico valore di massimo annuale di portata, si ha che la funzione cumulativa di probabilità (cioè la probabilità che  $x$  non venga superato) è la seguente:

$$P(y) = \exp(-\exp(-y)), \quad \text{dove:} \quad y = \frac{x-b}{a}$$

è la variabile ridotta ( $-\infty < y < +\infty$ ) ed  $a$  e  $b$  sono i due parametri che adattano la funzione alla particolare popolazione studiata. La stima dei parametri  $a$  e  $b$  è stata condotta secondo i quattro metodi dei momenti (M), momenti pesati (PWM), minimi quadrati (LS) e della massima verosimiglianza (ML).

L'attendibilità delle stime è stata valutata tramite i tests statistici del  $\chi^2$  e di Kolmogorov-Smirnov, effettuati entrambi con un livello di significatività  $\alpha$  del 5%. La distribuzione di Gumbel si adatta con buona regolarità al campione in esame, infatti tutte e quattro le stime superano largamente le verifiche dei tests. Si è optato tuttavia per le stime effettuate col metodo dei minimi quadrati (Least Square con plotting position secondo Weibull) in quanto queste risultano fornire il minimo valore di  $\chi^2$ . Ciò detto la funzione di distribuzione di Gumbel assume la seguente forma:

$$P(x) = \exp\left(-\exp\left(\frac{222.56 - x}{112.23}\right)\right)$$

Ovviamente, con facili passaggi la funzione di distribuzione può essere invertita, in modo che, nota la probabilità dell'evento ricercato, si possa risalire alla sua grandezza, ovvero, detta  $Q$  ( $P$ ) la portata al colmo avente probabilità di non superamento  $P$ , si ha:

$$Q(P) = b - a \cdot \ln\left[\ln\left(\frac{1}{P}\right)\right]$$

ovvero:

$$Q(P) = 22.56 - 112.23 \cdot \ln\left[\ln\left(\frac{1}{P}\right)\right] \quad (1)$$

Poiché è consuetudine misurare la rarità dell'intervento in termini di *tempo di ritorno*  $T_r$ , ovvero numero di anni in cui, mediamente, l'evento  $Q$  è raggiunto o superato una sola volta, conviene esprimere  $P$  in funzione di  $T_r$ , tramite l'espressione:

$$P = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (2)$$

Pertanto, andando a sostituire la (2) nella (1) si ottiene l'espressione che lega la portata al colmo col suo tempo di ritorno:

$$Q(P) = 22.56 - 112.23 \cdot \ln\left[\ln\left(\frac{T_r}{T_r - 1}\right)\right]$$

Di seguito sono riportati la stima dei parametri  $a$  e  $b$  della distribuzione di probabilità di Gumbel, i risultati dei test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov e del  $\chi^2$  ed i valori di portata al colmo stimati per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 30, 50, 100, 200, 500, 1000 anni.

<sup>1</sup>Vedi "Introduzione alle elaborazioni statistiche", Ugo Maione e Ugo Moisello, Ed. La Goliardica Pavese  
 PROGETTAZIONE ATI:

**Stima dei parametri a e b della distribuzione di probabilità di Gumbel**

$$P(x) = \exp(-\exp((b-x)/a))$$

	momenti	momenti pesati	minimi quadrati	massima verosimiglianza
<b>a=</b>	101.429	105.916	109.544	104.901
<b>b=</b>	170.734	168.144	168.059	168.855

**Risultati dei test di adattamento di Kolmogorov-Smirnov e del  $\chi^2$**

Test di Kolmogorov-Smirnov, valore limite (superiore) di  $D_N = 0.162$

	momenti	momenti pesati	minimi quadrati	massima verosimiglianza
$D_N$	0.065	0.057	0.053	0.056

Test del  $\chi^2$ , valore limite (superiore) di  $\chi^2 = 9.488$

	momenti	momenti pesati	minimi quadrati	massima verosimiglianza
$\chi^2$	3.422	2.109	2.973	3.129

**Stima del valore atteso della portata dato un tempo di ritorno**

$$\text{Portata attesa [mc/s]} \quad Q(Tr) = b - a * \ln(\ln(Tr/(Tr-1)))$$

<b>Tr</b> [anni]	momenti	momenti pesati	minimi quadrati	massima verosimiglianza
2	207.91	206.96	208.21	207.30
5	322.87	327.01	332.37	326.20
10	398.99	406.49	414.57	404.92
<b>30</b>	<b>514.00</b>	<b>526.60</b>	<b>538.79</b>	<b>523.87</b>
50	566.51	581.42	595.49	578.17
100	637.32	655.37	671.98	651.41
<b>200</b>	<b>707.88</b>	<b>729.06</b>	<b>748.19</b>	<b>724.39</b>
500	800.98	826.27	848.72	820.67
1000	871.33	899.74	924.71	893.43

PROGETTAZIONE ATI:

### 5.1.2. RIDUZIONE DELLE PORTATE DI PIENA ALLA SEZIONE DI INTERESSE

La determinazione delle portate massime nella sezione di interesse è stata effettuata mediante la seguente espressione sviluppata da *L. Gherardelli* e aggiornata da *G. Marchetti*, applicabile ai corsi d'acqua italiani:

$$q_{\max} = q_{100} \left( \frac{S}{100} \right)^{-2/3}$$

dove  $q_{100}$  è il contributo per Km<sup>2</sup> atteso in una massima piena su un bacino di 100 Km<sup>2</sup> e dove  $q_{\max}$  è il contributo di piena riferibile al medesimo bacino ma chiuso ad una estensione pari a S Km<sup>2</sup>. Dall'applicazione di tale formula a due differenti estensioni  $S_1$  e  $S_2$  di uno stesso bacino si può desumere la seguente relazione che consente di calcolare il contributo di piena di uno dei due bacini (ad esempio  $q_1$ ), noto quello dell'altro (ad esempio  $q_2$ ).

$$q_1 = q_2 \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{2/3}$$

In tale espressione  $q_2$  e  $S_2$  rappresentano il contributo e la superficie del bacino nella sezione denominata "Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma" mentre  $q_1$  e  $S_1$  le stesse grandezze nella sezione di interesse.

Il calcolo si effettua nella sezione di chiusura di interesse, posta presso la Direttissima, circa 2 km a monte dell'idrometro.

L'applicazione dell'espressione precedente ha condotto ai valori riportati nella seguente tabella.

**Tabella 5-1 Portate al colmo di piena calcolate in corrispondenza di diverse sezioni di chiusura del Canale Maestro della Chiana**

Portate al colmo		
Tr	Sezione del Canale Maestro della Chiana al Ponte della Ferrovia FI-Roma	Sezione del Canale Maestro della Chiana di interesse c/o Direttissima
	S = 1272 km <sup>2</sup>	
[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>30</b>	<b>538.79</b>	<b>526.58</b>
<b>200</b>	<b>748.19</b>	<b>731.23</b>

### 5.2. BACINI IDROGRAFICI MINORI INTERFERENTI CON LE OPERE DI PROGETTO

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

PROGETTAZIONE ATI:

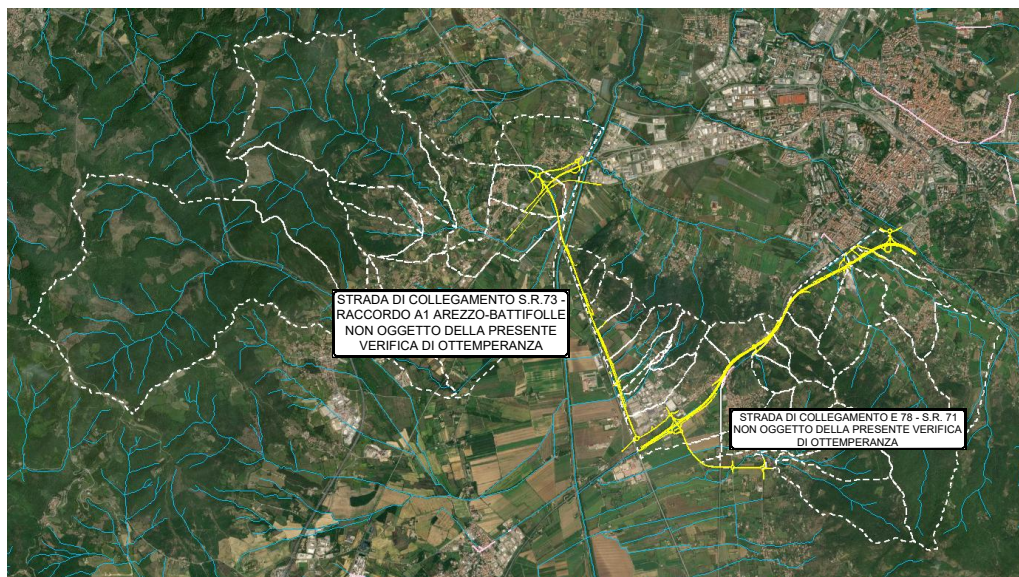
Il problema della trasformazione afflussi – deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale (coefficiente di deflusso) che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la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

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

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo ietogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione). Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura.

Nel caso in esame l'impossibilità di procedere con questa procedura, a causa dell'assenza di misurazioni contemporanee pluvio-idrometriche che non ha permesso la ricostruzione di eventi di piena reali, ha consigliato di escludere l'utilizzo di quei modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Pertanto, si è data preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Per la stima delle portate di progetto nei bacini minori ma ricompresi nel reticolo idrografico regionale (visualizzabile o scaricabile in formato shapefile dal portale cartografico della Regione Toscana al link: <https://www.regione.toscana.it/-/reticolo-idrografico-e-di-gestione>), bacini rappresentati in Figura 5-1 e negli elaborati T00.ID.00.IDR.CO.01, T00.ID.00.IDR.CO.02 e T00.ID.00.IDR.CO.03 (relativi alle corografie dei bacini), è stato implementato il modello matematico HEC-HMS nella versione 4.3 (si veda Allegato 1), modello idrologico sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center della U.S. Army Corps of Engineers, che permette di simulare i processi idrologici che influiscono sulla formazione e sulla propagazione dei deflussi di piena a partire dalla combinazione di differenti algoritmi di calcolo e sulla base della schematizzazione del bacino di indagine in diversi elementi variamente connessi tra loro dal punto di vista idrologico.



PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 5-1: Mappa dei sottobacini e interbacini dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico regionale ed interferenti direttamente con l'infrastruttura stradale in progetto**

Diversamente, per le aree afferenti ai fossi di guardia dell'infrastruttura in progetto e per quelle relative alla piattaforma stradale si è adottato il metodo razionale.

### 5.2.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per la determinazione dell'idrogramma di piena è stato adottato il metodo di Clark, in accordo con quanto illustrato nello studio idrologico a supporto della redazione dei recenti PS e PO del Comune di Arezzo. Tale metodo, nella definizione dell'idrogramma di piena, considera sia i processi di trasferimento sia i processi di laminazione e descrive l'idrogramma di piena attraverso la definizione di due parametri: il tempo di corrivazione  $T_c$  e la costante di invaso  $R$ .

Trattandosi di bacini non strumentati, il tempo di corrivazione per ciascun bacino è stato calcolato come valore medio tra quelli ottenuti attraverso l'applicazione delle varie formulazioni disponibili, in base al rispettivo campo di applicabilità dipendente dalle caratteristiche fisiografiche del singolo bacino. Nel presente studio, sono state utilizzate le formulazioni di Kirpich, Viparelli, Pezzoli, Watt & Chow, Chow, NCRS-Lag method, Ventura di seguito illustrate:

**Kirpich**, analizzando sei piccoli bacini americani di area compresa tra 0.0051 e 0.433 Km<sup>2</sup>, ha ricavato la seguente relazione, successivamente corretta da Rowe e Thomas:

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, espressa in metri e  $i_a$  è la sua pendenza.

**Viparelli** calcola il tempo di corrivazione  $t_c$  come il rapporto tra la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che deve seguire la particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura e stabilire una velocità media di trasferimento  $V$  della particella nel suddetto percorso:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

e suggerisce di utilizzare valori della velocità  $V$  caratteristica per correnti di piena variabili tra 1 e 1.3 m/s, specie per corsi d'acqua pedemontani.

**Pezzoli** propone invece la seguente espressione del tempo di corrivazione, dedotta da misure su piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in Km e  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Una formula analoga è quella di **Watt e Chow**, ottenuta utilizzando dati relativi a 44 bacini canadesi di area compresa tra 0.01 e 5840 Km<sup>2</sup> e caratterizzati da valori della pendenza  $i_a$  variabili tra 0.00121 e 0.0978:

$$t_L = a \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b$$

in cui  $t_L$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in m, e le costanti  $a$  e  $b$  assumono rispettivamente il valore 0.000326 e 0.79.

**Chow** ha proposto anche la stessa formula con i coefficienti  $a=0.00116$  e  $b=0.64$ , studiando venti piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.0051 e 18.5 Km<sup>2</sup>.

La formula del **NCRS – Lag method** propone, per bacini con superficie compresa tra 0.004 e 8.1 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{l^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{0.6 \cdot 1900 \sqrt{i_v}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $l$  è la lunghezza idraulica del bacino in piedi,  $S$  è la ritenzione potenziale espressa in pollici e  $i_v$  è la pendenza media dei versanti espressa in percentuale.

Una ulteriore formula applicata è quella di **Ventura**

$$t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{i_a}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $A$  è la superficie del bacino in km<sup>2</sup> e  $i_a$  è la pendenza media dell'asta.

Per quanto riguarda il coefficiente di invaso  $R$ , per la sua definizione ci si è riferiti alla formula di Clark, in conformità con gli studi idrologici a supporto degli strumenti di pianificazione vigenti del Comune di Arezzo:

$$R = \frac{0.8 \left( \frac{L}{1.60934} \right)}{\sqrt{i_B} \cdot 100}$$

in cui  $L$  rappresenta la lunghezza dell'asta espressa in km  $i_B$  è la pendenza media del bacino.

### 5.2.2. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso relativo a ciascun bacino idrografico di interesse è stimato mediante il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service (1972), il quale si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ [mm]}$$

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia

PROGETTAZIONE ATI:

che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P < I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. Le perdite iniziali  $I_a$  vengono di norma assunte pari ad una frazione di  $S$  come riportato nella seguente formulazione classica:

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad [mm]$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) [mm]$$

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

Gruppo A – Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.

tipo idrologico di suolo (S.C.S./C.N.)	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità d'argilla e colloid, anche se meno del gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso medio-alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Gruppo D – Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<u>Terreno coltivato</u>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<u>Terreno a pascolo</u>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<u>Terreni boscosi o forestati</u>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<u>Spazi aperti, prati rasati, parchi</u>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<u>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</u>	89	92	94	95
<u>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</u>	81	88	91	93
<u>Aree residenziali</u>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<u>Parcheggi, tetti, autostrade</u>	98	98	98	98
<u>Strade</u>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

**Valori del “Curve Number” CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell’uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)**

I valori del CN riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all’inizio dell’evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

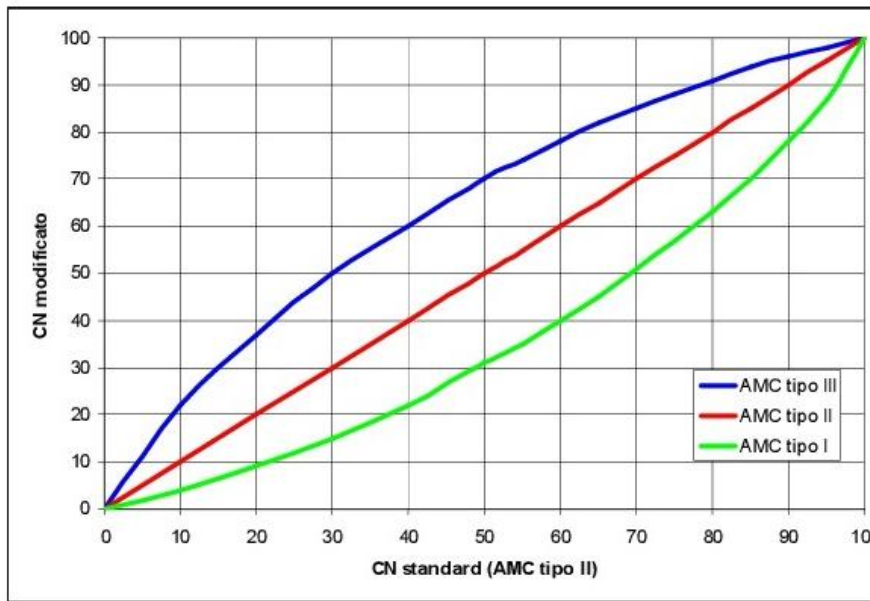
Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all’atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, dato dall’altezza totale di pioggia caduta nei cinque giorni che precedono l’evento di piena,  $API_5$ . A seconda del valore di  $API_5$ , vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

**Definizione della classe di umidità in base al parametro  $API_5$**

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, per passare a condizioni di umidità iniziale asciutte (classe AMC I) o umide (classe AMC III), si utilizzano le curve riportate di seguito.

PROGETTAZIONE ATI:



Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)}$$

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate alcune categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione delle sottozone con le quali si è suddiviso il bacino.

Una volta calcolata la pioggia netta (efficace)  $P_{net}$ , il coefficiente di deflusso è pari a:

$$c = \frac{P_{net}}{P}$$

Nel caso in esame, la stima del parametro CN per le varie porzioni dei bacini in studio si è basata sul tematismo del Curve Number (CN) in formato shapefile.

Per quello che concerne la stima del rapporto tra le perdite iniziali ed il volume specifico di saturazione  $I_a/S$  (Initial Abstraction ratio), si è utilizzato il classico valore pari a 0.2.

Per tutti i bacini in studio si è supposta, in favore di sicurezza, una condizione iniziale di imbibimento corrispondente a valori di CN (III).

### 5.2.3. IETOGRAMMA DI PROGETTO

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma nonché della distribuzione temporale delle altezze di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

La precipitazione in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi considerata nella presente applicazione è una pioggia di durata  $d$  maggiore o uguale tempo di corrivazione,  $t_c$ , del

PROGETTAZIONE ATI:



sottobacino in esame e di assegnato tempo di ritorno, pari al tempo di ritorno dell'idrogramma di piena che si vuole determinare. In particolare, per ciascun corso d'acqua interferente con l'infrastruttura di progetto, è stata valutata la risposta idrologica del bacino mediante simulazioni idrologiche implementate in ambiente HEC-HMS con ietogrammi in ingresso ad intensità costante e di durata variabile, così da determinare quella che massimizza la portata al colmo in corrispondenza della sezione di chiusura posta immediatamente a monte dell'opera interferita.

#### 5.2.4. TRASFORMAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE IN DEFLUSSO

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso lungo la rete idrografica utilizzando la metodologia dell'idrogramma unitario, che descrive matematicamente la risposta idrologica di un bacino idrografico ad un impulso di pioggia efficace unitario. Assumendo che l'idrogramma unitario sia invariante con il progredire della precipitazione (condizione di idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (condizione di idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno ietogramma qualsiasi può essere determinata come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

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

Nel caso in esame, la risposta idrologica del bacino idrografico è stata calcolata utilizzando l'idrogramma unitario di Clark. Si tratta di un modello che restituisce l'idrogramma unitario di un bacino attraverso i due processi chiave che intervengono nella trasformazione dell'eccesso di precipitazione in deflusso: il trasferimento dell'eccesso di pioggia attraverso il reticolo di drenaggio dalla sua origine alla sezione di chiusura e l'effetto di laminazione della portata. Conseguentemente i parametri che caratterizzano il modello sono il tempo di corrivazione del bacino  $t_c$  [ore] e il coefficiente di invaso  $R$  [ore].

#### 5.2.5. METODO RAZIONALE

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

- la massima piena avviene per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione delle piene ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

$$Q = \frac{chS}{3,6t_c} (m^3/s)$$

dove:

- $c$  = coefficiente di deflusso del bacino;
- $h$  = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);
- $S$  = superficie del bacino ( $\text{km}^2$ );
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

La procedura si articola nei seguenti passi:

- delimitazione del bacino idrografico di interesse su una base cartografica in opportuna scala;
- definizione dei parametri morfologici e fisiografici del bacino;
- definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;
- analisi dei dati di copertura per la valutazione del coefficiente di deflusso;
- calcolo della portata di massima piena per il tempo di ritorno di progetto in funzione della tipologia dell'opera (tombini, sistema di drenaggio acque meteoriche piattaforma stradale, ecc.)

Nello specifico, come anticipato, il metodo idrologico concettuale implementato con HEC-HMS è stato adottato per la stima delle portate di progetto dei bacini dei corpi idrici minori ricompresi nel reticolo idrografico regionale ed interferenti con l'infrastruttura in progetto, finalizzata al dimensionamento dei relativi tombini, ad eccezione di alcuni sottobacini di estensione ridotta afferenti ai fossi di guardia dell'opera in progetto per i quali la portata di progetto è stata stimata applicando il metodo razionale.

Il metodo razionale è stato impiegato inoltre per il dimensionamento delle reti di drenaggio delle acque meteoriche della piattaforma stradale, dei fossi di guardia e dei relativi tombini di attraversamento. Si rimanda alle relazioni specifiche per ulteriori dettagli.

PROGETTAZIONE ATI:

## 6. RISULTATI DELL'ANALISI IDROLOGICA

### 6.1. BACINI DEI CORSI D'ACQUA MINORI APPARTENENTI AL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE

Di seguito si riportano i parametri idrologici e le portate di progetto dei bacini dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico regionale, dei quali si riporta il codice identificativo.

#### 6.1.1. BACINI "TORRENTE VINGONE SAN GIULIANO - TORRENTE LOTA"

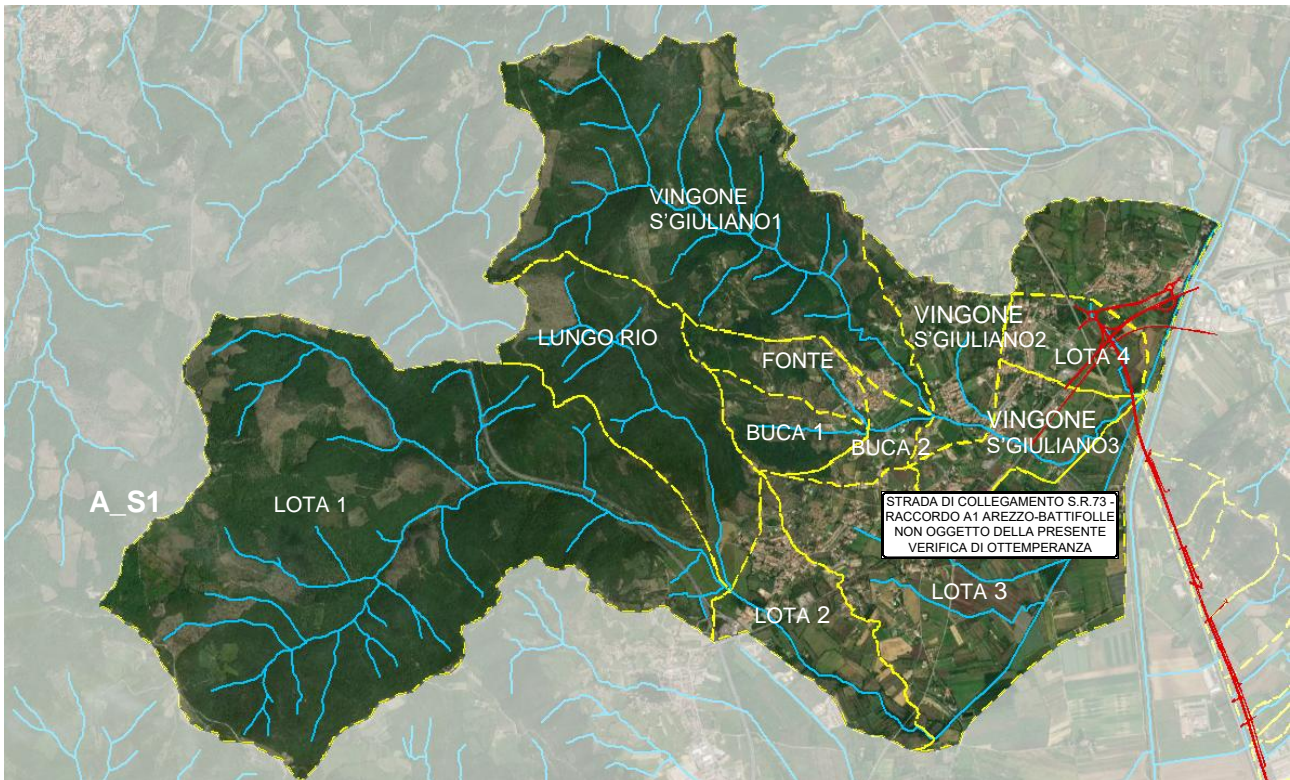
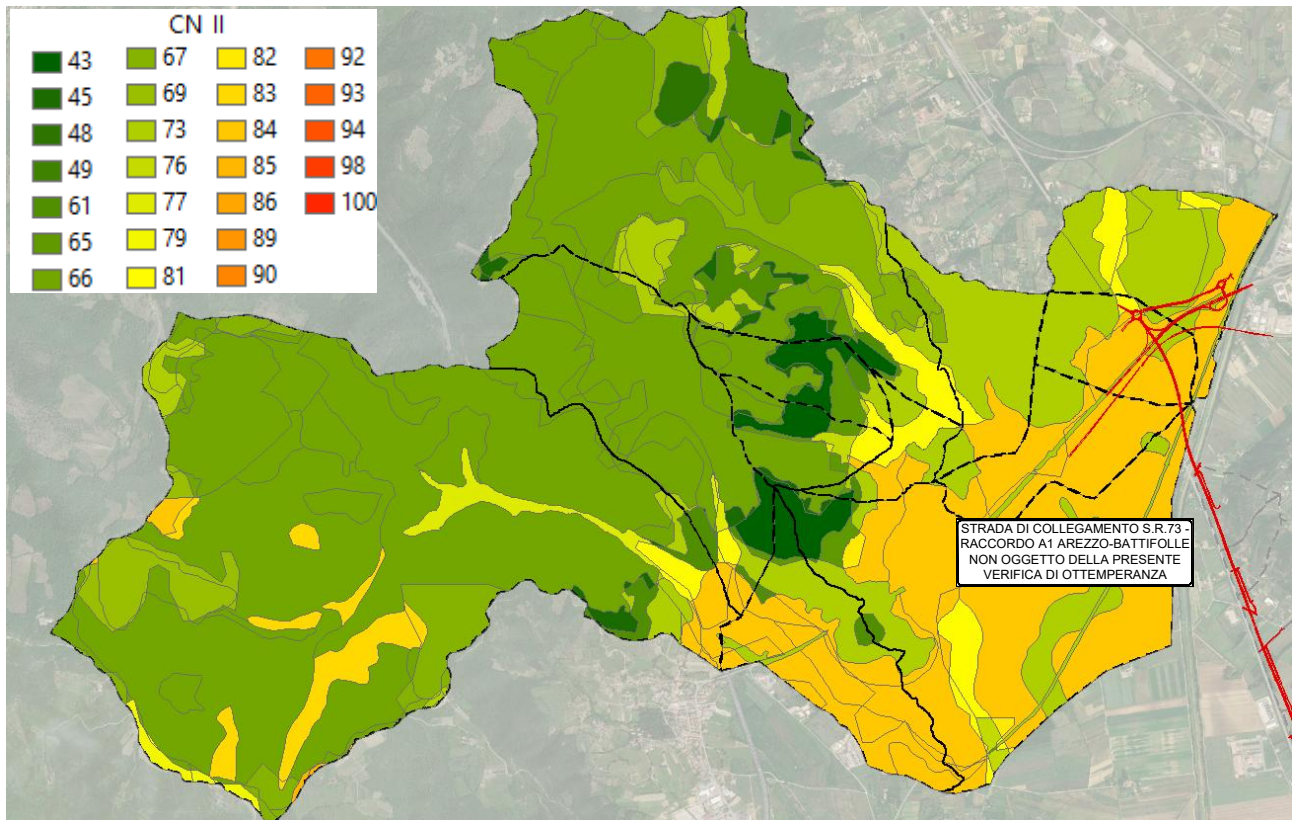


Figura 6-1: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

PROGETTAZIONE ATI:





**Figura 6-2: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.**

**Parametri caratteristici dei bacini**

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
BUCA 1	0.48	0.38	0.11	63.26	79.84
BUCA 2	0.32	0.45	0.11	76.68	88.32
FORTE	0.51	0.37	0.09	60.59	77.96
LOTA 1	8.49	1.39	0.64	67.97	83.00
LOTA 2	1.12	1.07	0.48	78.86	89.56
LOTA 3	3.28	1.96	0.9	80.04	90.22
LOTA 4	0.61	0.83	0.23	79.18	89.74
LOTA 5	1.08	1.03	0.31	76.49	88.21
LUNGO RIO	1.95	0.88	0.36	65.83	81.59
VINGONE S'GIULIANO 1	4.41	1.29	0.58	65.67	81.48
VINGONE S'GIULIANO 2	0.81	0.70	0.18	74.39	86.98
VINGONE S'GIULIANO 3	0.81	1.16	0.45	81.42	90.98
BUCA 1	0.48	0.38	0.11	63.26	79.84
BUCA 2	0.32	0.45	0.11	76.68	88.32

**Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni**

Nodo		Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
J2	LOTA1, LOTA2, LOTA3, LUNGO RIO	30min	<b>171.98</b>
J3	BUCA1, FONTE, BUCA2, VINGONE S'GIULIANO1, VINGONE S'GIULIANO2, VINGONE S'GIULIANO3	2h	<b>56.73</b>
LOTA 4		1h	<b>9.07</b>
LOTA 5		1h	<b>10.25</b>

PROGETTAZIONE ATI:



### 6.1.2. BACINI “SAN ZENO”

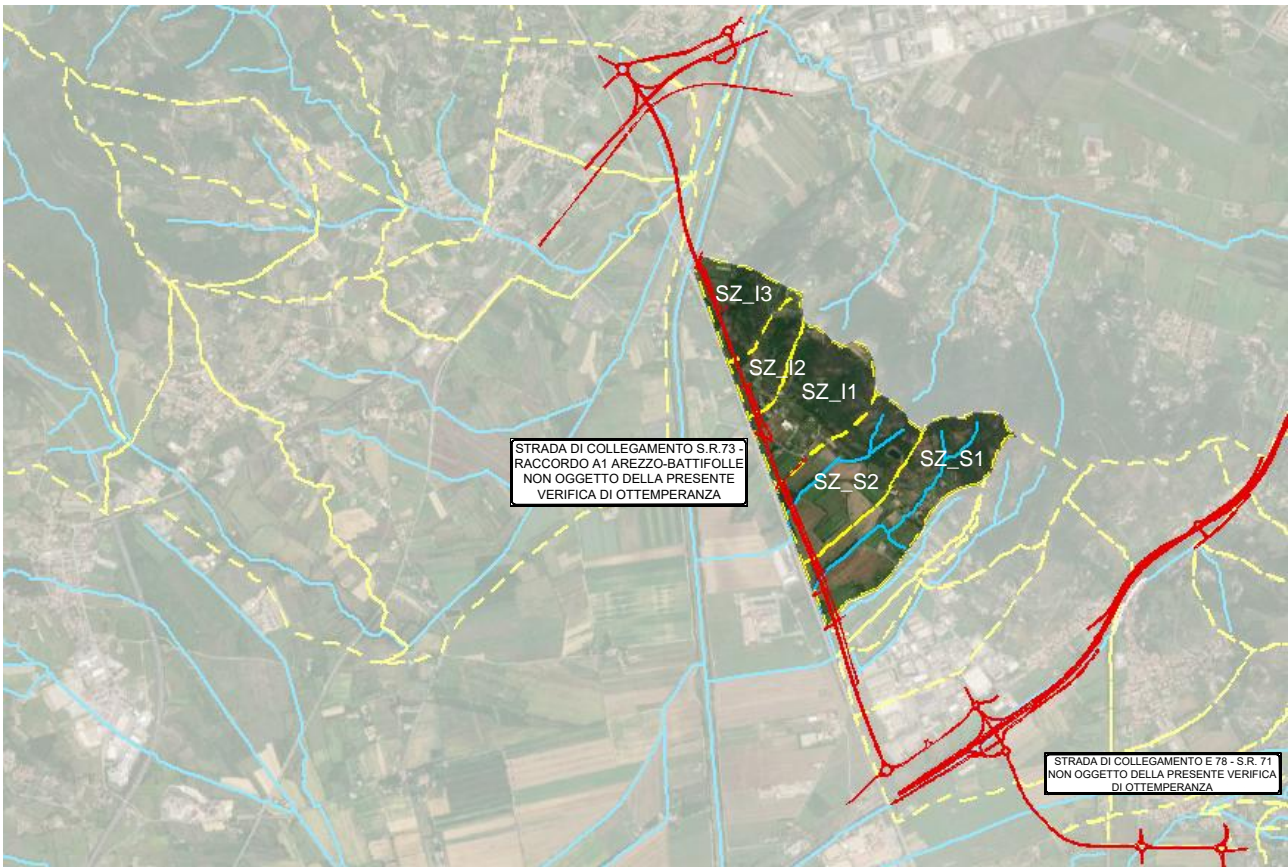
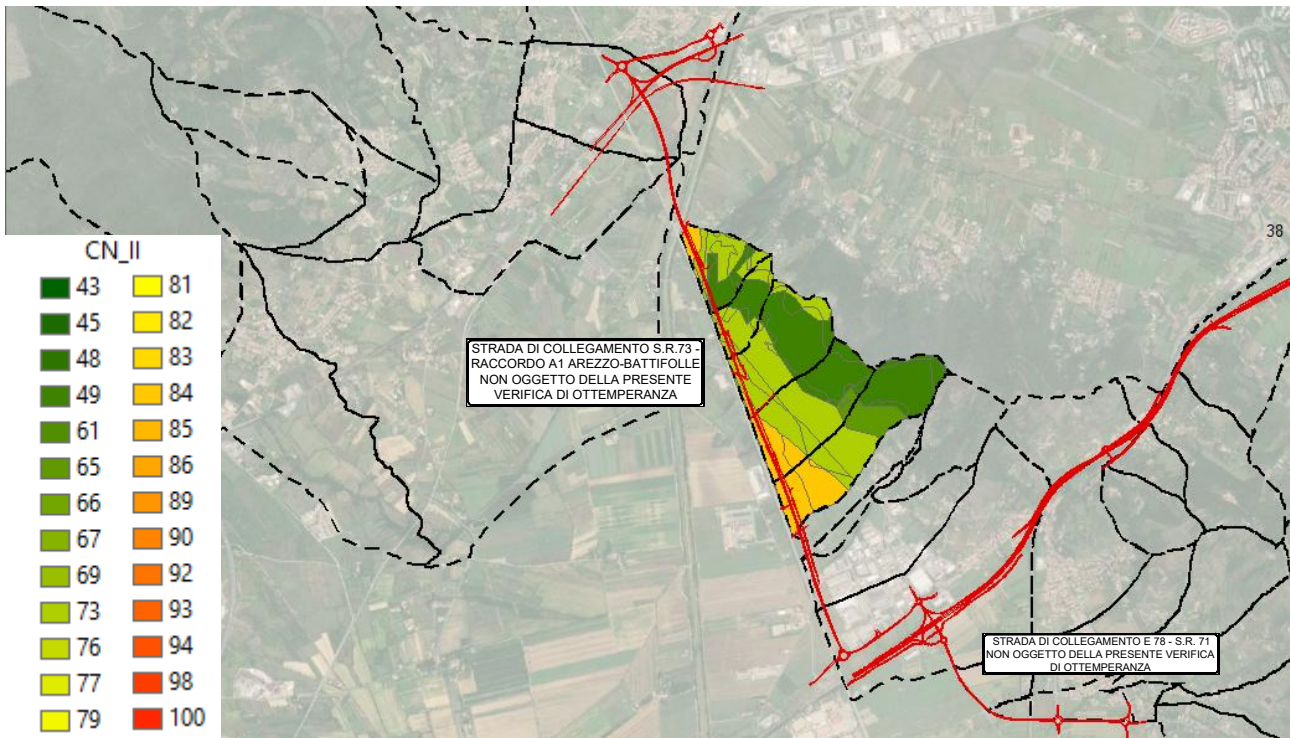


Figura 6-3: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 6-4: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.**

**Parametri caratteristici dei bacini**

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
SZ_S1	0.43	0.28	0.189	67.25	82.5
SZ_S2	0.34	0.18	0.118	69.41	83.9
SZ_I1	0.32	0.16	0.090	66.04	81.73
SZ_I2	0.13	0.11	0.055	67.73	82.84
SZ_I3	0.17	0.08	0.039	69.12	83.7

**Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni**

Nodo	Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
SZ_S1	1 h	<b>5.50</b>
SZ_S2	30 min	<b>5.94</b>
SZ_I1	30 min	<b>5.53</b>
SZ_I2	30 min	<b>2.43</b>
SZ_I3	30 min	<b>3.31</b>



6.1.3. BACINI “RIO DELLE QUERCE”

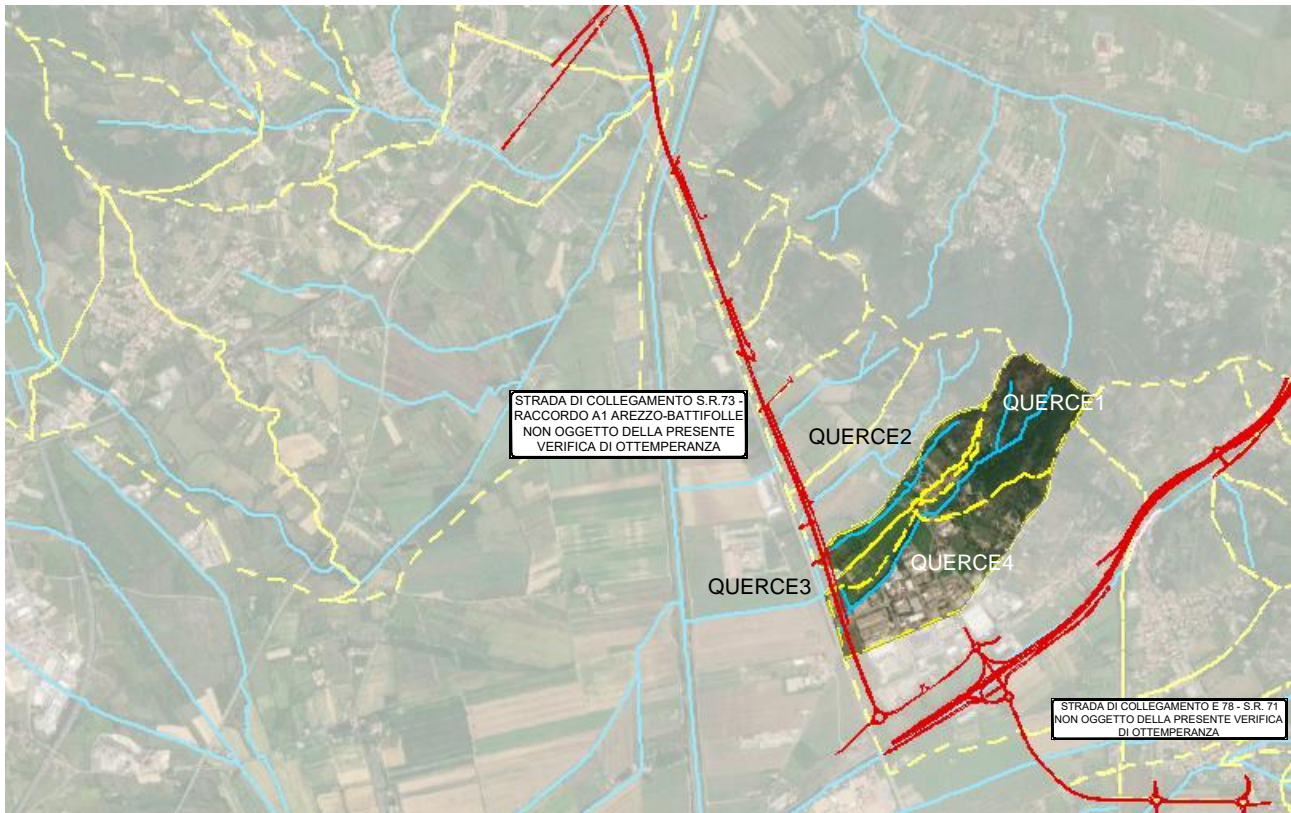


Figura 6-5: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

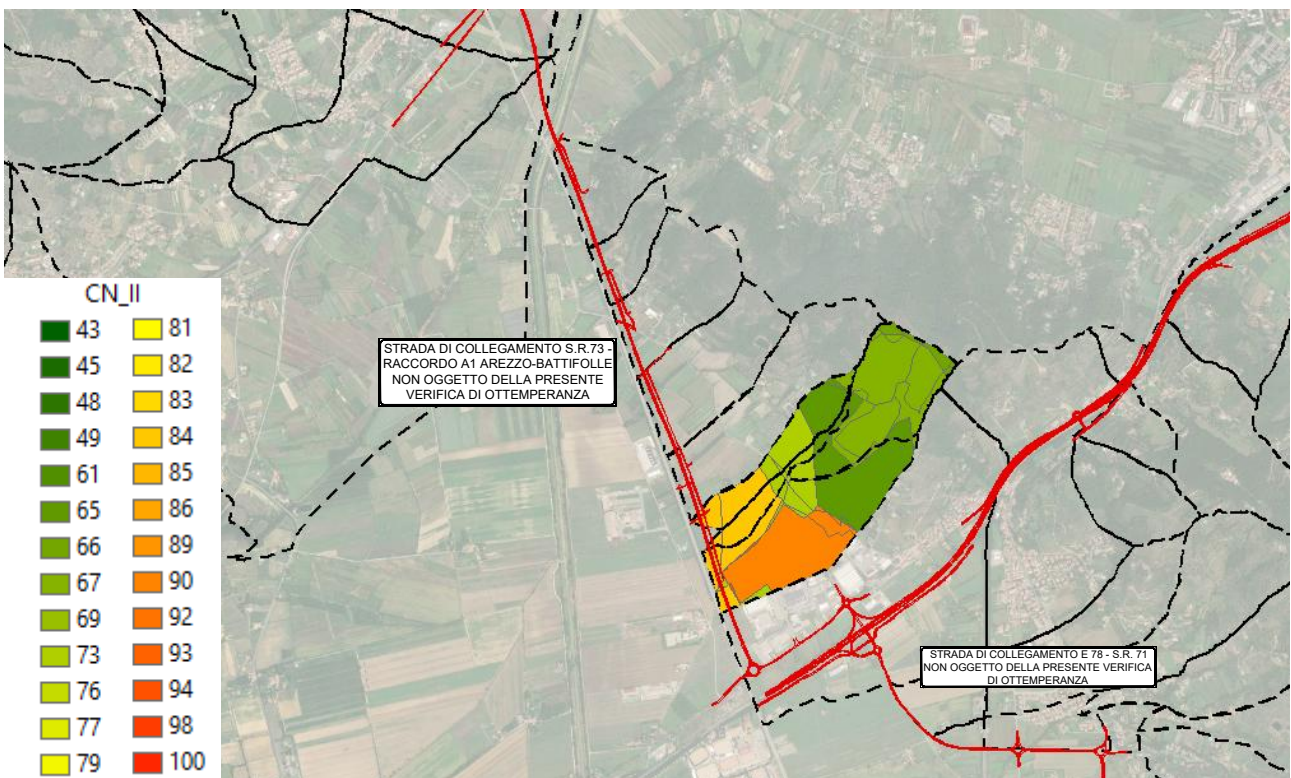


Figura 6-6: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

PROGETTAZIONE ATI:

**Parametri caratteristici dei bacini**

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
QUERCE 1	0.29	0.32	0.12	66.89	82.29
QUERCE 2	0.15	0.38	0.17	74.04	86.77
QUERCE 3	0.07	0.39	0.15	78.13	89.15
QUERCE 4	0.41	0.53	0.13	79.64	90

**Durate di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni**

Nodo		Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
QUERCE 2		30 min	<b>2.38</b>
J2	QUERCE1, QUERCE3, QUERCE4	30 min	<b>12.62</b>



6.1.4. BACINI “RIO DELL’OLMO”

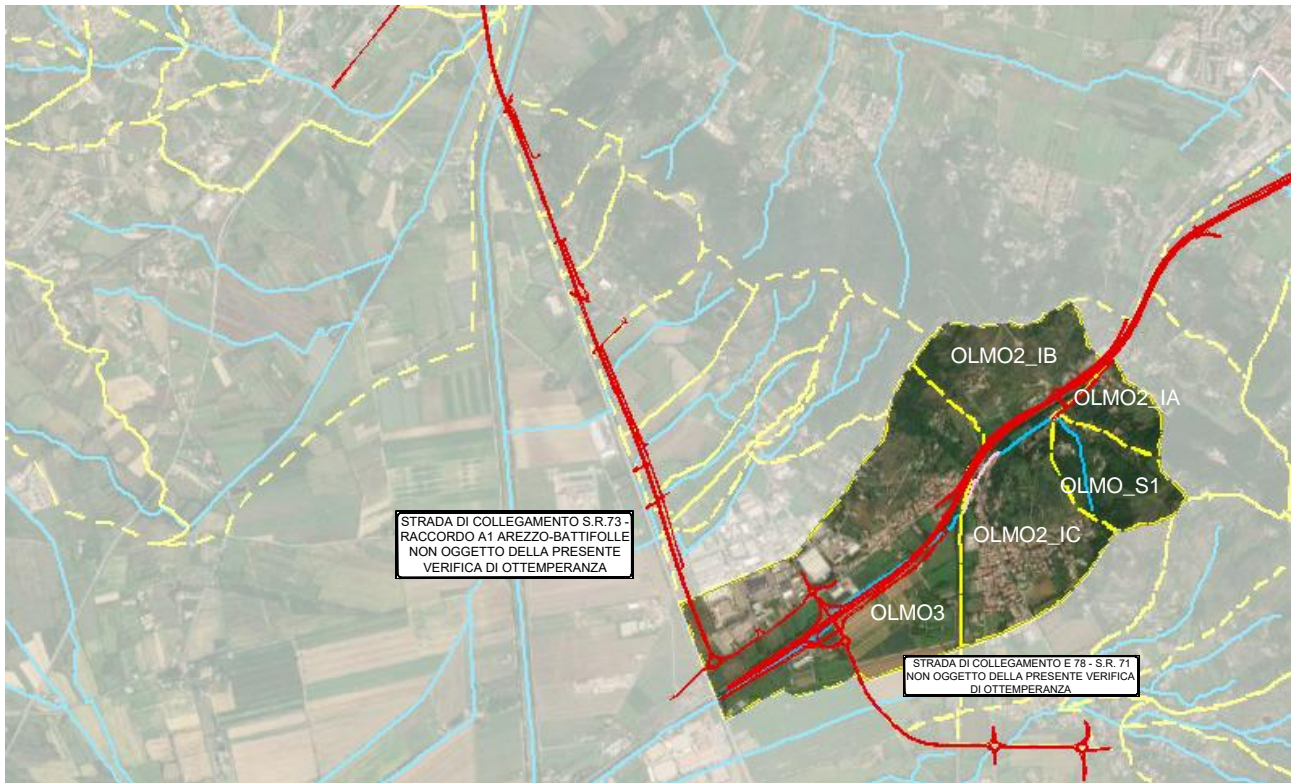


Figura 6-7: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

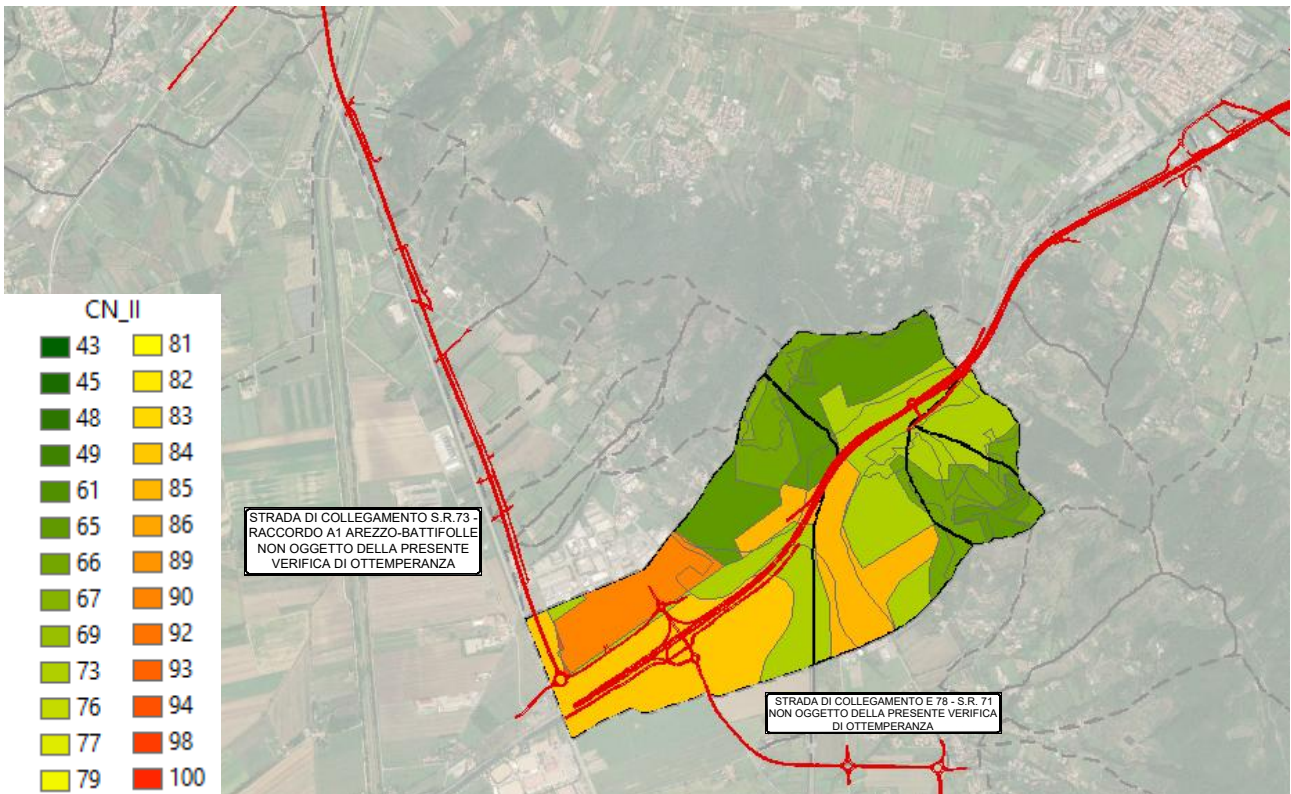


Figura 6-8: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

PROGETTAZIONE ATI:



Parametri caratteristici dei bacini

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
OLMO_S1	0.23	0.17	0.064	67.37	82.60
OLMO2_IA	0.12	0.13	0.060	71.60	85.29
OLMO2_IB	0.35	0.14	0.047	67.27	82.54
OLMO2_IC	0.55	0.27	0.102	76.68	88.32
OLMO3	1.23	1.23	0.405	74.37	86.97

Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q <sub>picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
OLMO_S1	30 min	4.25
OLMO2_IA	30 min	2.52
OLMO2_IB	30 min	6.44
OLMO2_IC	30 min	11.44
OLMO3	1 h	11.12

6.1.5. BACINI “RIO DI SANT’ANTONIO”

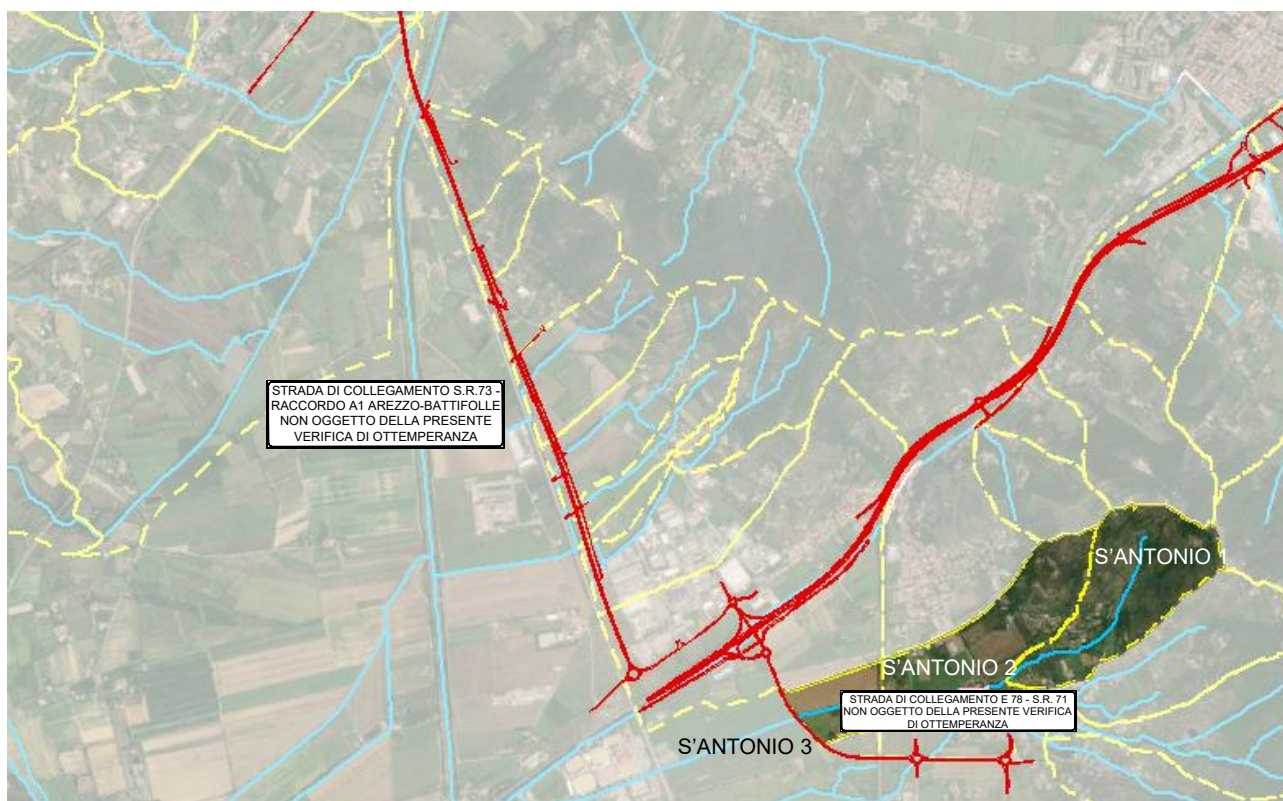


Figura 6-9: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

PROGETTAZIONE ATI:

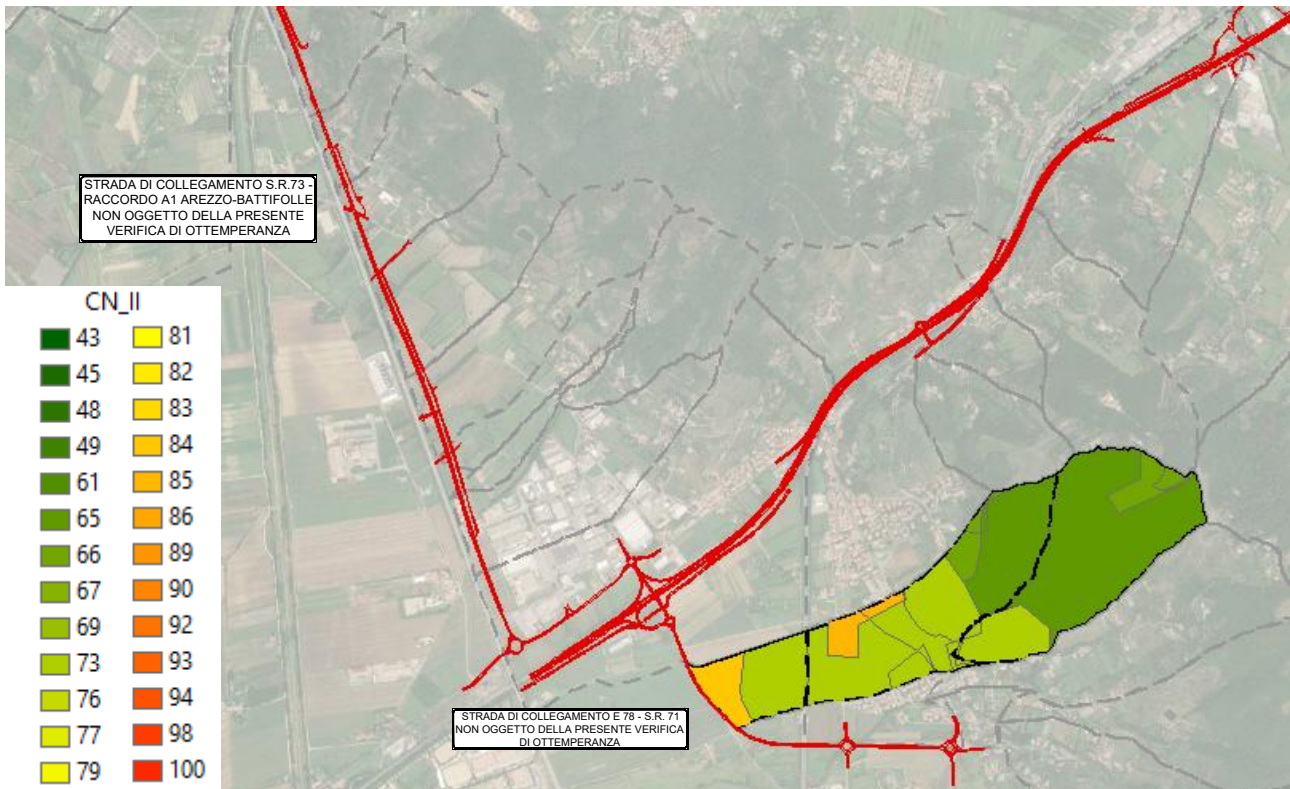


Figura 6-10: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

**Parametri caratteristici dei bacini**

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
S'ANTONIO 1	0.43	0.39	0.14	66.33	81.92
S'ANTONIO 2	0.42	0.47	0.12	70.96	84.89
S'ANTONIO 3	0.13	0.33	0.175	76.50	88.22

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo		Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
J4	S'ANTONIO1 S'ANTONIO2 S'ANTONIO3	30 min	14.01

PROGETTAZIONE ATI:



### 6.1.6. BACINI “RIO DI RIOLO”

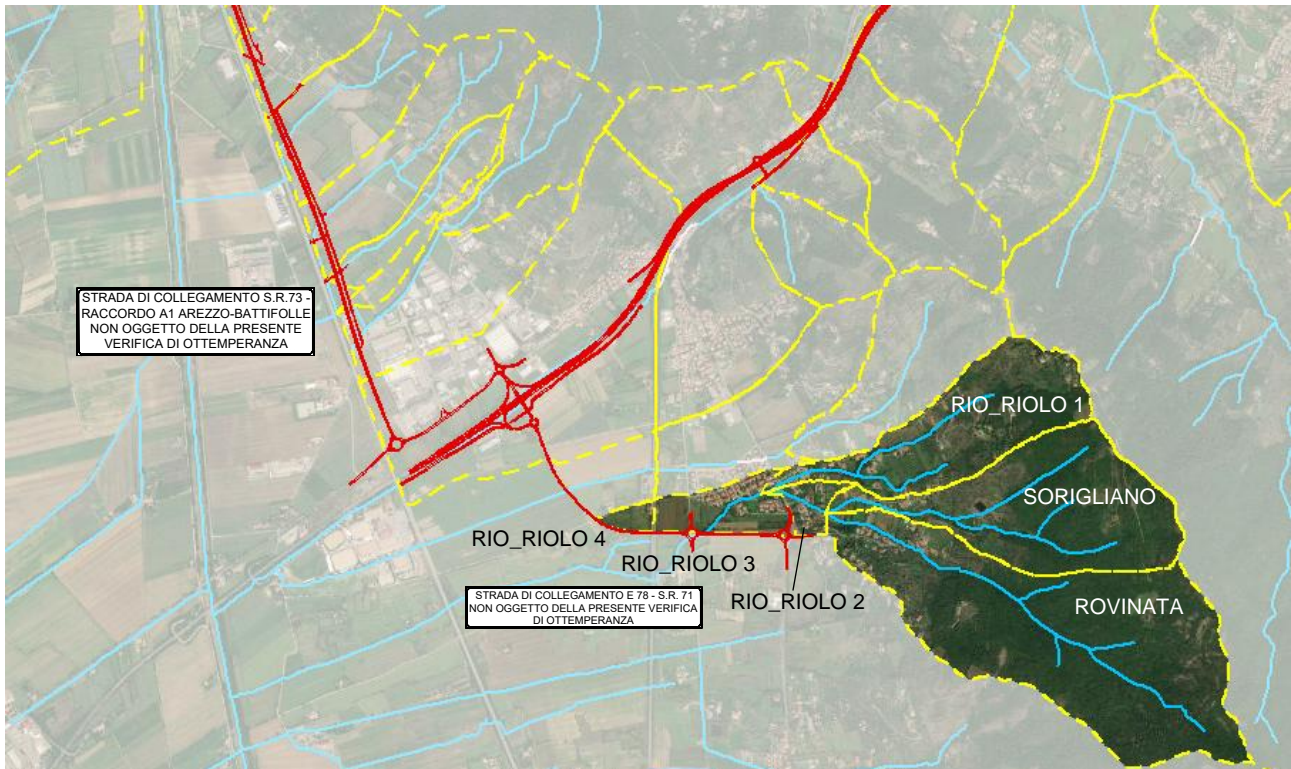


Figura 6-11: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.

PROGETTAZIONE ATI:

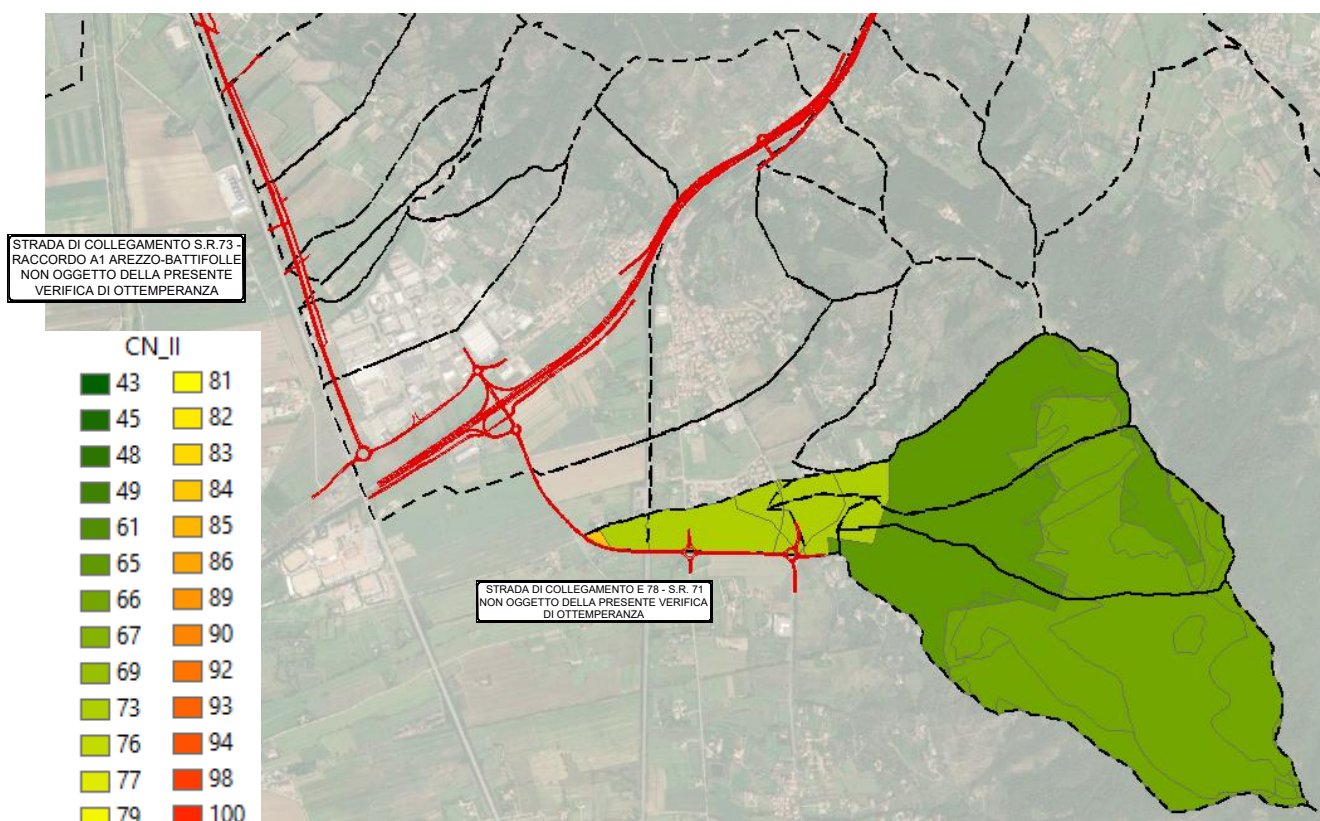


Figura 6-12: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

Parametri caratteristici dei bacini

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
RIO RIOLO 1	0.46	0.44	0.17	66.09	81.76
SORIGLIANO	0.61	0.61	0.16	65.78	81.56
ROVINATA	1.15	0.61	0.25	65.86	81.56
RIO RIOLO 2	0.05	0.25	0.08	72.56	85.88
RIO RIOLO 3	0.14	0.26	0.125	73.00	86.15
RIO RIOLO 4*	0.03	-	-	74.47	87.03

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo		Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
J3	RIO RIOLO1, SORIGLIANO, ROVINATA, RIO RIOLO2, RIO RIOLO3	1 h	26.69
	RIO RIOLO 4*	15 min	0.60

\* Portata di Progetto calcolata con il metodo razionale assumendo una durata critica di precipitazione pari a 15 minuti, una intensità di precipitazione pari a 176 mm/ora ed un coefficiente di afflusso pari a 0.41.



6.1.7. BACINI “FOSSATONE1\_IA E FOSSATONE1\_IB”

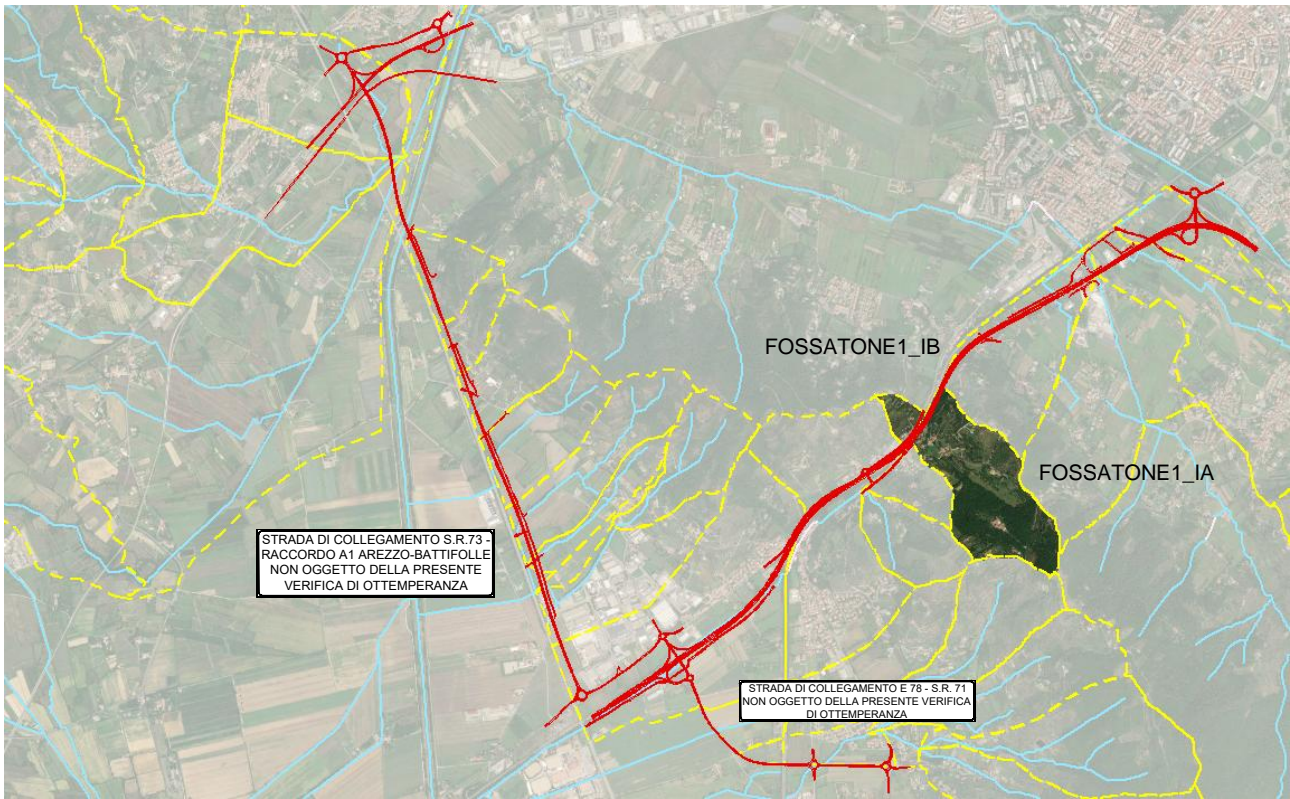


Figura 6-13: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto

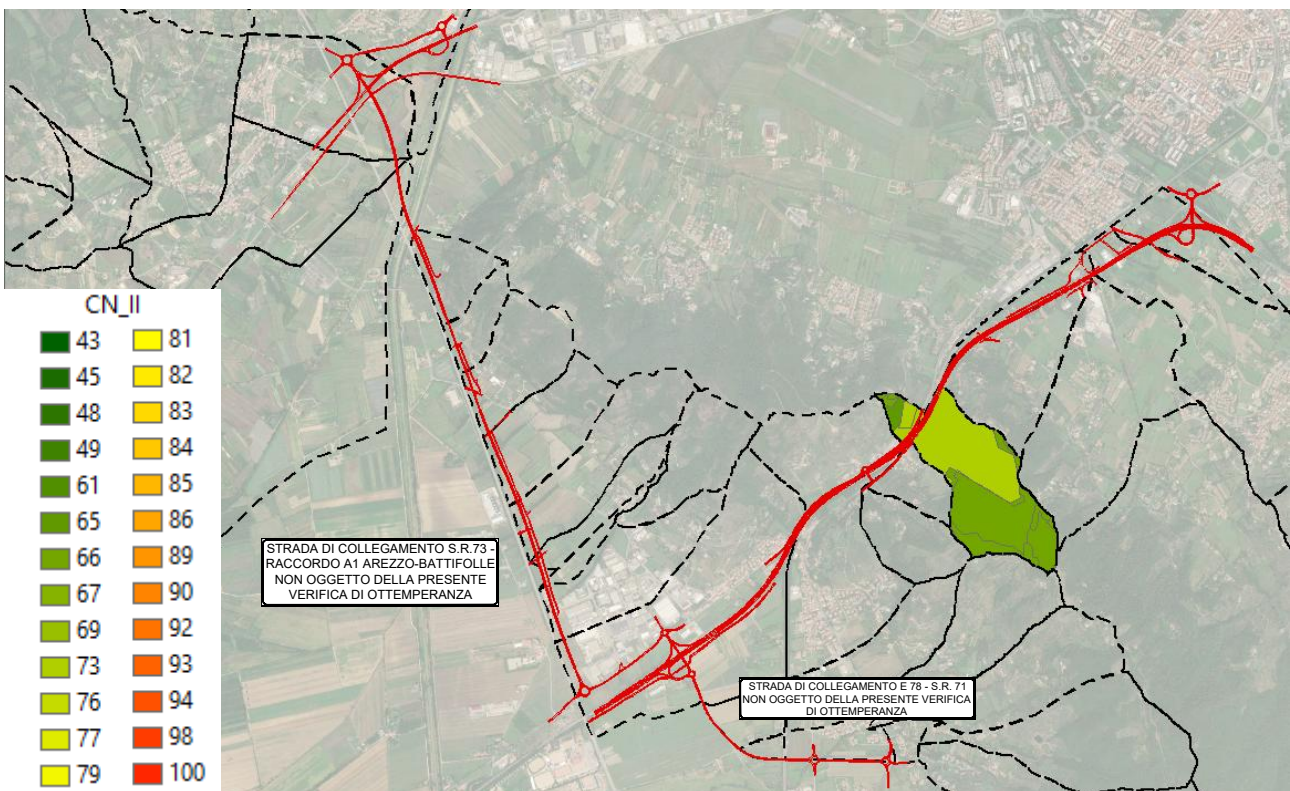


Figura 6-14: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

PROGETTAZIONE ATI:



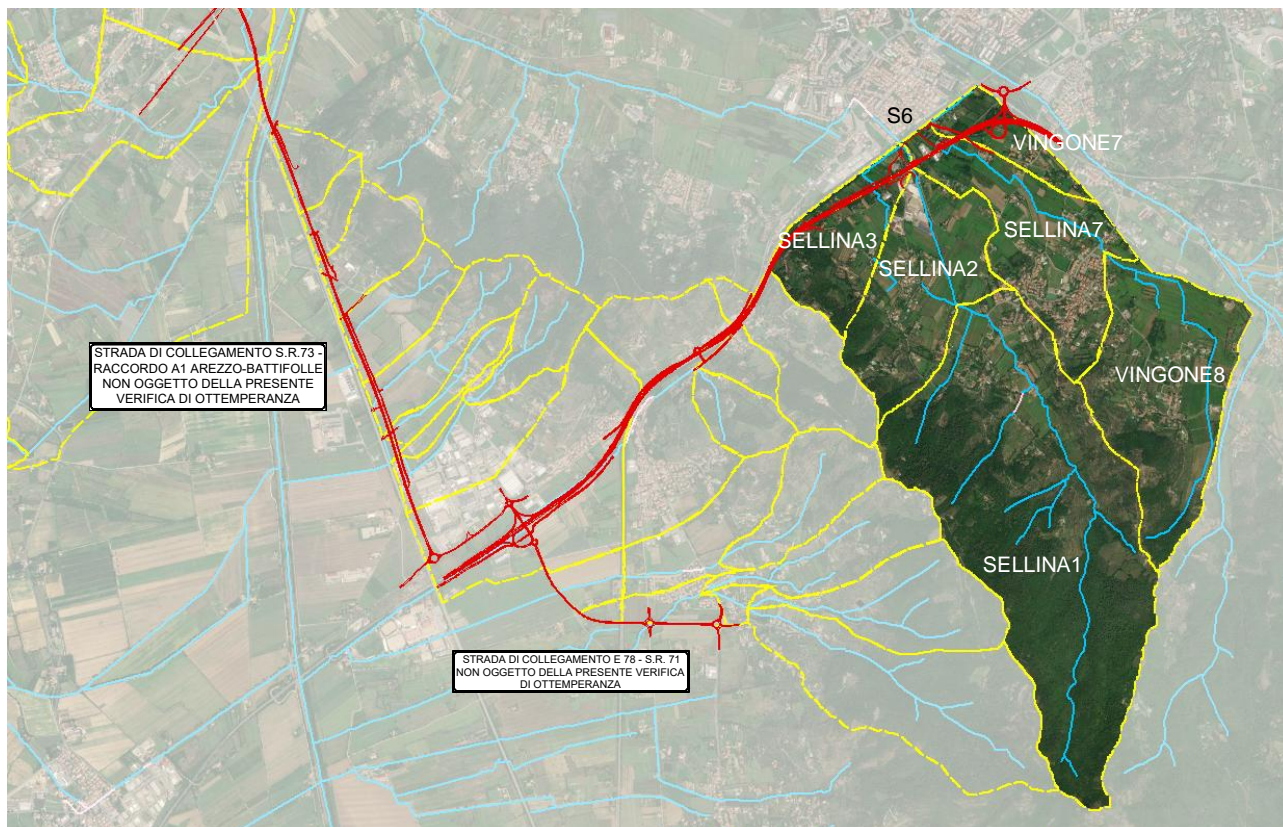
**Parametri caratteristici dei bacini**

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
FOSSATONE1_IA	0.48	0.28	0.111	69.12	83.74
FOSSATONE1_IB	0.05	0.06	0.022	69.36	83.89

**Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni**

Nodo	Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
FOSSATONE1_IA	1h	6.97
FOSSATONE1_IB	30 min	0.98

**6.1.8. BACINI “FOSSO SELLINA – T. VINGONE”**



**Figura 6-15: Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto.**

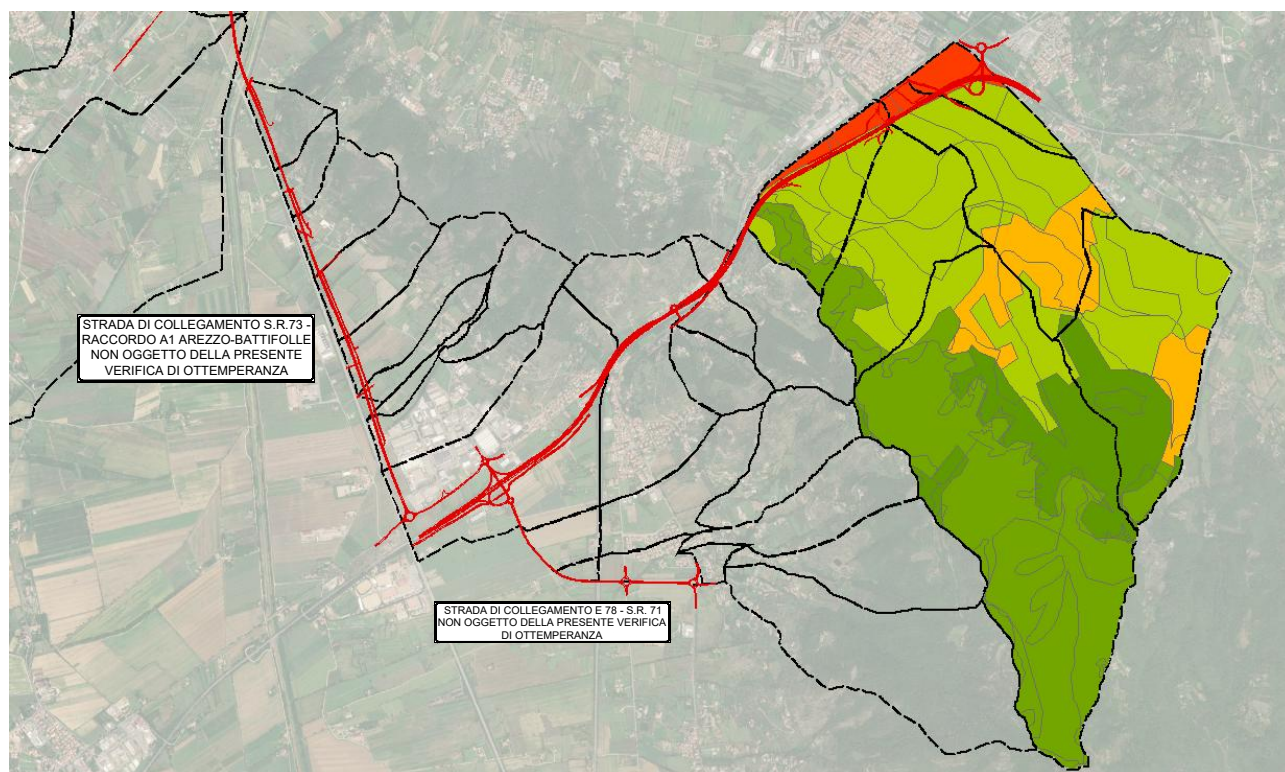


Figura 6-16: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

Parametri caratteristici dei bacini

Bacino	S	T <sub>c</sub>	R	CN II	CN III
	[Km <sup>2</sup> ]	[ore]	[ore]	[%]	[%]
SELLINA 1	2.96	0.46	0.14	67.62	82.77
SELLINA 2	0.88	1.17	0.46	71.68	85.34
SELLINA 3	0.53	0.98	0.29	74.99	87.33
SELLINA 7	0.85	1.16	0.35	76.87	88.43
SELLINA6*	0.04	-	-	76.87*	88.43*
VINGONE 7*	0.24	-	-	76.87*	88.43*
VINGONE 8	1.21	0.66	0.29	72.45	85.81

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
SELLINA3	1h	5.88
J1 SELLINA1 SELLINA2	1h	42.46
J4 VINGONE8 SELLINA7	1h	21.91
SELLINA6*	15min	0.94
VINGONE 7*	15min	5.23

\* Portata di Progetto calcolata con il metodo razionale assumendo una durata critica di precipitazione pari a 15 minuti, una intensità di precipitazione pari a 176 mm/ora, un coefficiente di afflusso pari a 0.45 per entrambi i bacini SELLINA6 e VINGONE7 e un valore di CN pari a quello del bacino vicino SELLINA7. L'analisi dei dati a disposizione ha restituito per entrambi i bacini valori di CN superiori a 90, non compatibili con le reali caratteristiche di uso e copertura del suolo dei bacini considerati. E' stato quindi adottato lo stesso CN del vicino bacino SELLINA7, dalle caratteristiche simili.

PROGETTAZIONE ATI:

### **6.1.1. BACINI AFFERENTI AI FOSSI DI GUARDIA E AL SISTEMA DI DRENAGGIO DELLA PIATTAFORMA STRADALE**

Per la consultazione delle portate di progetto calcolate con il metodo razionale si rimanda agli elaborati T00.ID.00.IDR.RE.02 *“Relazione idraulica smaltimento acque di piattaforma e di versante”* e T00.ID.00.IDR.RE.03 *“Relazione idraulica attraversamenti minori (tombini)”*.

PROGETTAZIONE ATI:

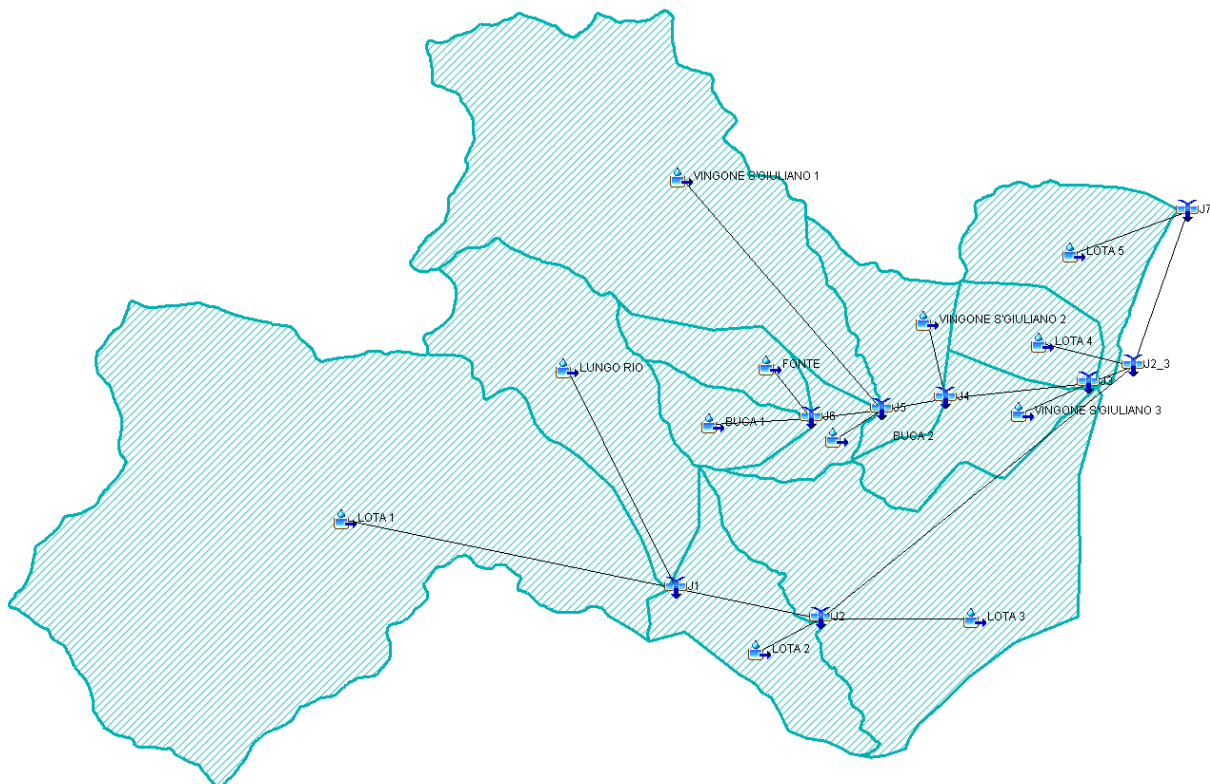


## 7. ALLEGATI – SOFTWARE HEC-HMS

Il software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (USACE) permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note, è applicabile ad una vasta gamma di problemi idrologici; il software, infatti, consente la modellazione idrologica di un bacino, mediante la definizione degli elementi concettuali che lo rappresentano e dei processi fisici che avvengono in essi.

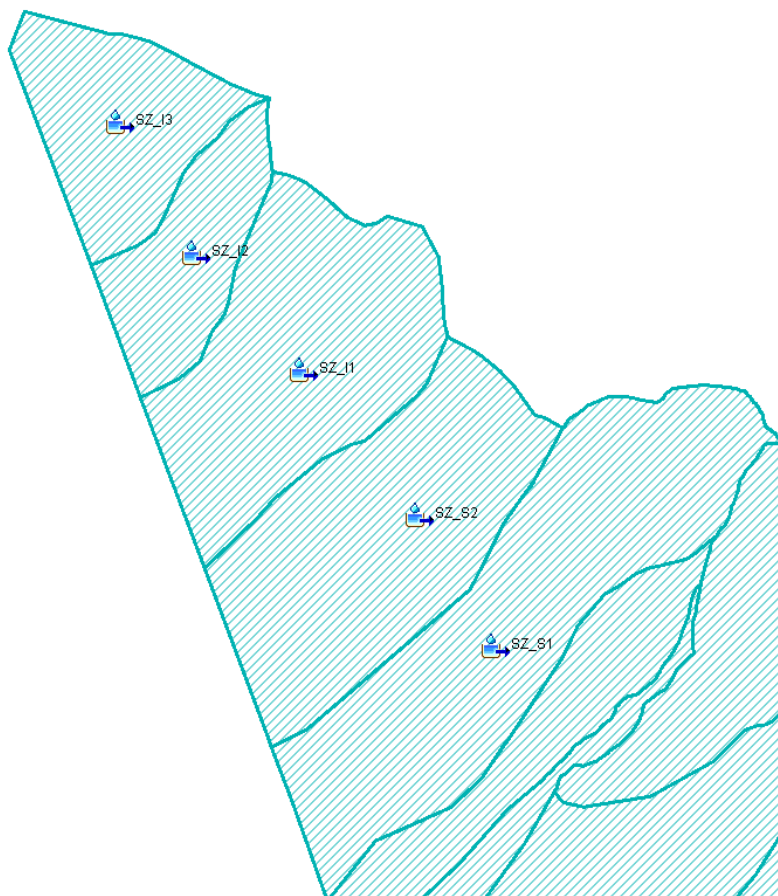
HEC – HMS è stato creato per essere applicabile in un ampio campo di problemi idrologici, quali: Studio dei deflussi in grandi bacini idrografici, Analisi dei deflussi di piena, Analisi di deflussi provenienti da piccoli bacini urbani o rurali, Disponibilità idriche di regioni geografiche, Studio dei sistemi di drenaggio urbani, Previsione dei deflussi ecc.

La rappresentazione fisica del bacino idrografico viene fatta nella schematizzazione di bacino attraverso varie componenti, come sottobacini, tronchi fluviali, giunzioni, ritenute, fuoriuscite, sorgenti e pozzi, unite tra di loro a formare una rete completa. Il software utilizza in pratica una schematizzazione a parametri concentrati del bacino idrografico, cioè il bacino idrografico viene schematizzato come un insieme di sottobacini idrografici uniti insieme tra loro dai tronchi fluviali e dalle giunzioni. Ogni sottobacino risponde all'evento pluviometrico secondo delle caratteristiche che sono proprie del sottobacino ma che derivano dalle caratteristiche morfologiche, di uso del suolo, ecc. presenti nello stesso sottobacino. Solo in un caso, utilizzando il metodo di Clark modificato, è possibile ricorrere anche ad una schematizzazione a parametri distribuiti.



Torrente Lota - Schematizzazione sottobacini ed elementi di collegamento

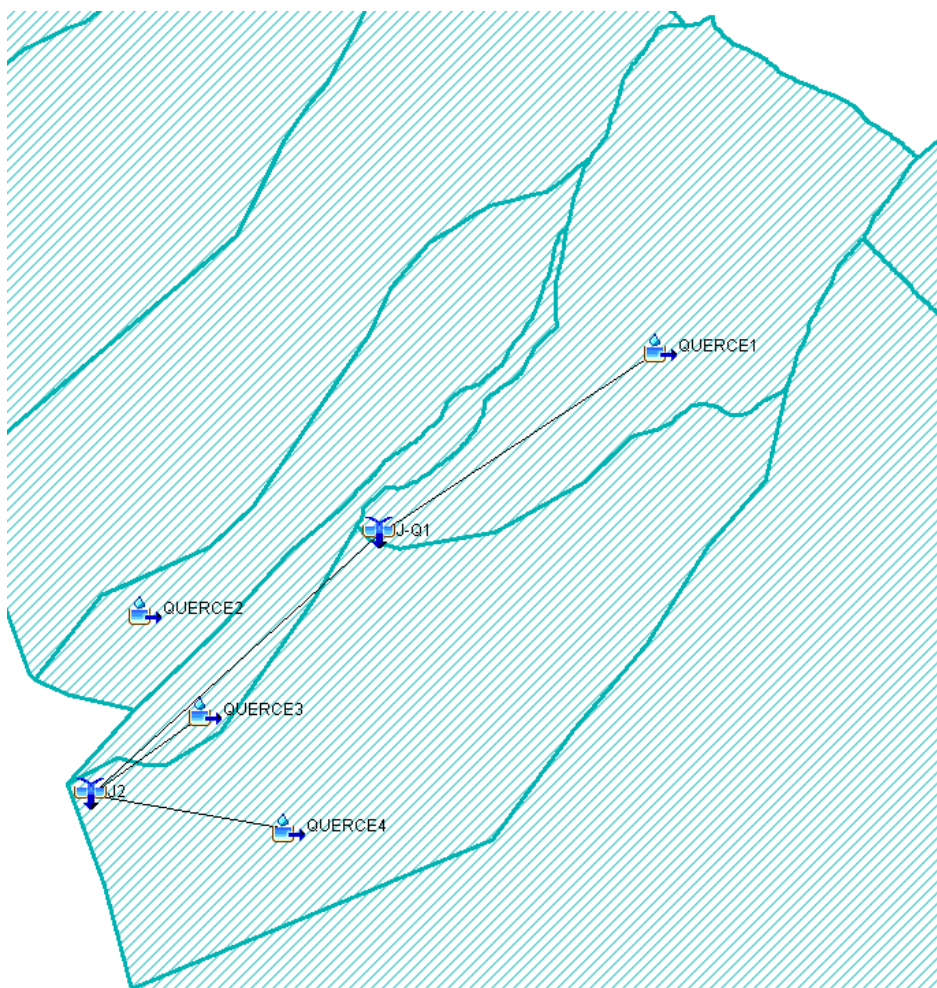
PROGETTAZIONE ATI:



**San Zeno - Schematizzazione dei sottobacini**

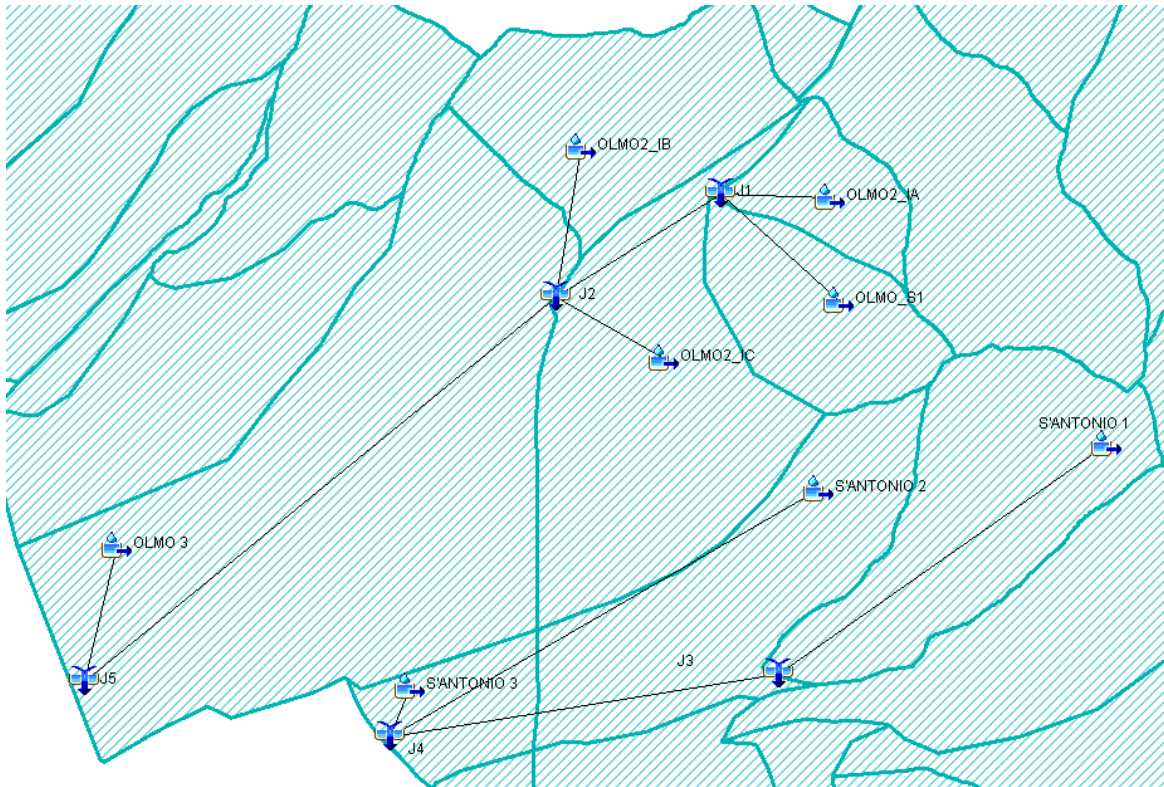
PROGETTAZIONE ATI:





**Rio delle Querce - Schematizzazione sottobacini ed elementi di collegamento**

PROGETTAZIONE ATI:

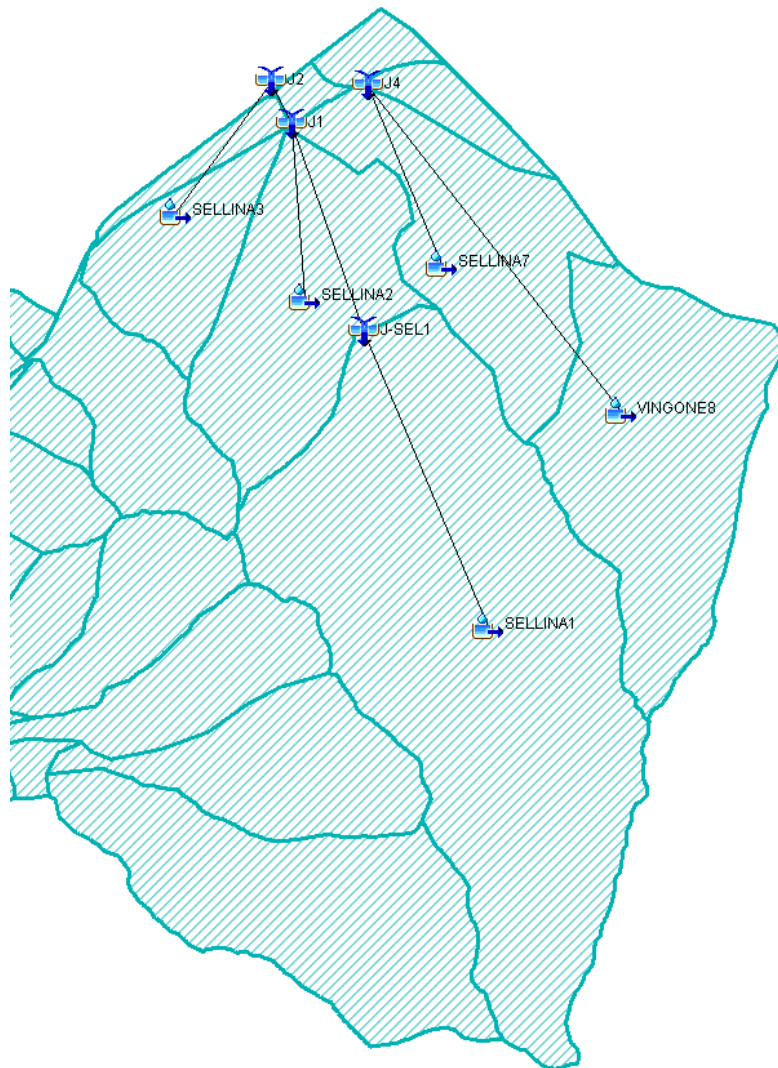


**Rio dell'Olmo e Rio di Sant'Antonio - Schematizzazione sottobacini ed elementi di collegamento**



**Fossatone1 - Schematizzazione dei sottobacini**

PROGETTAZIONE ATI:



**Fosso Sellina e Torrente Vingone - Schematizzazione sottobacini ed elementi di collegamento**

Per la trasformazione afflussi pluviometrici – deflussi superficiali il programma dispone di:

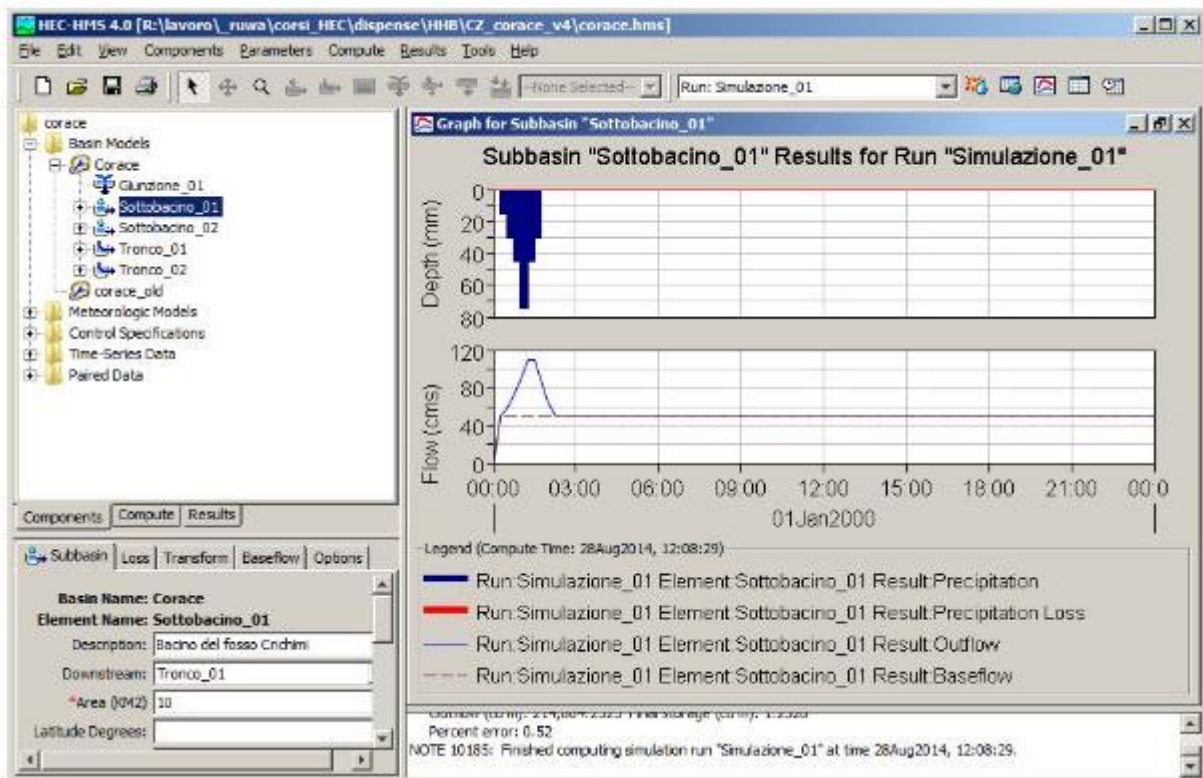
- un'interfaccia di specificazione delle precipitazioni che permette di descrivere un evento storico osservato oppure una precipitazione sintetica basata su una indagine di tipo statistico, o il limite superiore di precipitazione possibile per una certa località. All'interno del programma è presente una componente che permette di inserire, ed eventualmente analizzare, serie di dati pluviometrici in modo da ottenere le caratteristiche pluviometriche dell'evento di progetto, in pratica lo ietogramma di progetto, da inserire come dato di ingresso della modellazione numerica. All'interno di questa componente è possibile utilizzare diversi metodi per l'analisi dei dati storici di precipitazione oppure utilizzare risultati derivanti da precedenti elaborazioni di serie statistiche di dati pluviometrici. E' possibile inoltre selezionare diverse modalità per distribuire spazialmente la pioggia incluso il metodo dei poligoni di Thiessen (topoieti).
- Modelli di stima delle perdite, attraverso i quali si può stimare il volume dello scorrimento superficiale noti la precipitazione e le proprietà del bacino imbrifero come per esempio la

PROGETTAZIONE ATI:



perdita iniziale e costante, il metodo Curve Number del Soil Conservation Service ed il metodo di Green e Ampt;

- Modelli di formazione di volumi di piena, che possono essere usati per valutare lo scorrimento superficiale, l'immagazzinamento e l'energia persa nel fenomeno in cui l'acqua si muove dal bacino imbrifero verso un canale di scorrimento tra i quali l'idrogramma unitario di Clark, Snyder o del Soil Conservation Service, il metodo di Clark modificato in caso di schematizzazioni a parametri distribuiti;
- Modelli di propagazione di onde di piena che descrivono il processo che ne regola il deflusso e il trasporto nella rete idrografica del bacino si va infatti dal semplice trasferimento a metodi più complessi come quello di Muskingum-Cunge sia per canali di forma semplice che per canali di forma complessa;



Visualizzazione grafica risultati

- Moduli per elementi di collegamento utili per la descrizione geometrica della rete idrografica come confluenze, biforcazioni e altre singolarità;
- Moduli per le strutture di controllo includenti diversivi e casse di espansione;
- Modello di pioggia distribuito, che può essere utilizzato con dati di precipitazione distribuiti, come ad esempio quelli ottenuti tramite un radar meteorologico;
- Modello in continuo per tenere conto dell'umidità del suolo che può essere visualizzato per simulare la risposta a lungo termine di un bacino imbrifero a variazioni meteorologiche stagionali o annuali.

### Metodologia

Le diverse fasi di implementazione del modello idrologico sono eseguite mediante i seguenti passaggi procedurali:

- Definizione delle componenti del sistema idrografico;
- Individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino,
- Impostazione della trasformazione afflussi deflussi,

PROGETTAZIONE ATI:

- Definizione dei parametri di propagazione dei deflussi,
- Analisi meteorologica,
- Trasformazione afflussi - deflussi - Calibrazione parametri idrologici

L'esecuzione di una simulazione idrologica richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

- Basin Model in questa fase si esegue una rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico. Tale componente permette di specificare elementi idrologici, metodi di calcolo delle perdite di bacino, metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi, ed ulteriori elementi che compongono il dominio di interesse. Nella schematizzazione si definisce il bacino oggetto di studio, dove per prima cosa si imposta il sistema di misura, ad esempio metrico. Successivamente si definiscono tutte le componenti di bacino, quali sottobacini (Subbasin) per determinare l'onda di piena, tratti di alveo (Reach) per la propagazione dell'onda, ed elementi di unione tra più sottobacini o tronchi di alveo (Junction)
- Meteorologic Model si esegue l'analisi pluviometrica. Al suo interno si possono definire sia i dati di pioggia di riferimento che quelli relativi ad ulteriori processi, quali evapotraspirazione e scioglimento di neve. Nel primo caso è possibile inserire sia eventi registrati che ietogrammi sintetici, tra cui quelli definiti direttamente dall'utente o estrapolati dalle serie riferite a diversi pluviografi ed assegnando opportuni coefficienti di peso tramite ad esempio il metodo dei poligoni di Thiessen
- Control Specifications si definisce l'intervallo temporale di simulazione, specificando il giorno di inizio e fine evento (in termini di data), scegliendo il più opportuno intervallo temporale per la rappresentazione dei dati (giornaliero, orario o sub orario)