



Comune di BREGANZE

Piazza G. Mazzini n.49 - 36042 Breganze (VI)
tel. 0445/869300 - fax 0445/869301
email: protocollo@comune.breganze.vi.it

PIANO COMUNALE DELLE ACQUE

(ai sensi dell' Art. 20 - Sicurezza idraulica delle N.T.A. Variante al PTRC - Regione del Veneto approvata con Dgr n. 427 del 10 aprile 2013)



RELAZIONE IDRAULICA

DATA		CODICE ELABORATO	PROGETTO ED ELABORAZIONE DEL PIANO		
Ottobre 2025		NE12560000D03	 Via Paolo da Sarmeola 1/A 35030 - Rubano (PD) t. 0498975709 - f. 049630270 info@nordestingegneria.com www.nordestingegneria.com		
SCALA		FILE			
		S:\Lavori\Comune di Breganze\NE1256 - Piano delle Acque\Elaborati\Relazioni			
COMMITTENTE			dott. ing. Anna Chiara Bixio		
Comune di Breganze Sindaco Alessandro Crivellaro Resp. Lavori Pubblici Ing. Riccardo Panozzo			Gruppo di lavoro		
			dott. ing. Anna De Fiorenze		
			dott. ing. Daniele Lorenzi		
			dott. ing. Angelica Bellan		
			dott. ing. Tommaso Tosi		
			dott. ing. Enrico Cestaro		
			dott. ing. Daniela Claut		
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE	REDAZIONE	RIESAME	VERIFICA
00	Lug 2025	Prima emissione	NE	NE	ACB

1	IL MODELLO IDROLOGICO	2
1.1	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO IN HEC-HMS.....	2
1.1.1	<i>I modelli di trasformazione afflussi-deflussi.....</i>	2
1.1.1.1	Modello continuo di separazione dei deflussi: Soil Moisture Accounting	2
1.1.1.2	Modello di separazione dei deflussi ad evento: SCS	5
1.1.1.3	Modello di Clark.....	9
1.1.1.4	L'attribuzione del CN e dei parametri idraulici ai sottobacini	11
1.1.1.5	Gli ietogrammi di progetto	18
1.1.1.6	I risultati del modello idrologico	19
2	VERIFICHE IDRAULICHE INTERVENTI MINORI	26
2.1	CR_01 – INT_01: VIA MAGLIO	27
2.2	CR_04 – INT_04_01: VIA RIVA	30
2.3	CR_06 – INT_06: VIA CITTÀ DI HEVES	32
2.4	CR_08 – INT_08: VIA CHIESA	34
2.5	CR_09 – INT_09: VIA DEI GELSI	38
2.6	CR_11 – INT_11: VIA MARAGNOLE	41
2.7	CR_12 – INT_12: VIA ZABARELLA	46

1 IL MODELLO IDROLOGICO

1.1 Implementazione del modello idrologico in HEC-HMS

Il codice di calcolo HEC-HMS si dimostra uno strumento affidabile nella modellazione idrologica dell'area allo studio; esso ha richiesto una descrizione accurata della geometria dei bacini e dei sottobacini definiti dal reticolo idrografico e la caratterizzazione di proprietà fisiche del territorio quali la pedologia, la capacità di infiltrazione e l'uso del suolo che governano i meccanismi di separazione degli afflussi e le trasformazioni di essi in deflussi.

1.1.1 I modelli di trasformazione afflussi-deflussi

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

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

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

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

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

1.1.1.1 Modello continuo di separazione dei deflussi: Soil Moisture Accounting

Un modello idrologico continuo deve essere in grado di descrivere in modo affidabile il comportamento di un bacino idrografico sia in regime di piena sia in regime di magra. Ciò che differenzia una trattazione continua da quella ad evento è essenzialmente il termine di

evapotraspirazione che, nel primo caso, riveste un ruolo non trascurabile soprattutto nei deflussi di magra, tipicamente caratteristici dei periodi estivi. Definita la precipitazione, il termine di evapotraspirazione potenziale è calcolato dal modello attraverso la formula di Priestley Taylor (1972):

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \frac{s(R_n - G)}{s + \gamma} \alpha \quad [\text{mm/giorno}]$$

dove λ è il calore latente di evaporazione [MJ/kg], R_n è la radiazione solare netta [MJ/m²giorno], G è il flusso di calore al suolo per riscaldamento o raffreddamento [MJ/m²giorno], s è la pendenza della curva che esprime la tensione di vapore di saturazione in funzione della temperatura [kPa/°C], γ è la costante psicometrica [kPa/°C] e α è il coefficiente di Priestly-Taylor che sostituisce il termine aerodinamico dell'equazione di Penmann-Monteith e rappresenta la frazione di acqua disponibile all'evaporazione.

Il modello Soil Moisture Accounting (di seguito SMA) tiene conto dei meccanismi di intercettazione della precipitazione da parte della vegetazione, simula l'accumulo dell'acqua nello strato collaborante di suolo e descrive i movimenti di questa all'interno del terreno e verso gli strati più profondi e la falda. A partire dalla precipitazione e da un valore di evapotraspirazione potenziale calcolato secondo Priestly Taylor, come descritto sopra, il modello calcola le perdite per evapotraspirazione, i contributi di deflusso superficiale e sub superficiale ed il termine di percolazione profonda.

Il modello SMA rappresenta il sottobacino come un insieme di invasi posti in serie secondo la schematizzazione illustrata in Figura 1 il contenuto d'acqua nel terreno è calcolato attraverso un bilancio di massa e viene aggiornato in continuo nel corso degli eventi intensi e tra due eventi successivi.

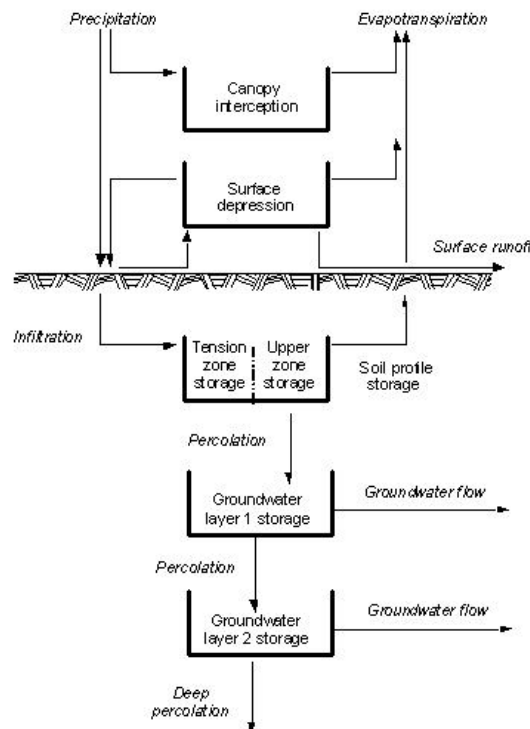


Figura 1.1: Schema concettuale dell'algoritmo del modello continuo SMA
(tratto dal Manuale Tecnico di HEC – HMS).

L'accumulo e la perdita di acqua possono avvenire in quattro 'ambienti' principali:

- nella **vegetazione ('canopy interception')** che, per mezzo degli alberi, delle piante e dell'erba, cattura una frazione piccola della precipitazione che affluisce al bacino e non le fa raggiungere il terreno; l'acqua così immagazzinata dalle piante può venire rilasciata per evaporazione mentre la frazione di pioggia restante è disponibile ad essere invasata negli strati successivi. Nel presente studio il termine descritto non è stato considerato.
- nelle **depressioni superficiali del terreno ('surface-interception storage')** che raccolgono quella frazione della precipitazione non trattenuta dalle piante che eccede la capacità di infiltrazione del terreno. Una volta che il volume a disposizione viene completamente saturato, l'eccesso di acqua contribuisce al deflusso superficiale. Nell'analisi condotta tale volume specifico è stato posto uniforme su tutto il bacino e pari a 2 mm.
- nello **strato di terreno collaborante al deflusso sub-superficiale ('soil-profile storage')** suddiviso in due regioni, 'upper zone' e 'tension zone'. La prima delle due regione schematizza la porzione di terreno in cui l'acqua viene immagazzinata nelle porosità; essa è soggetta quindi sia a fenomeni di evapotraspirazione sia a percolazione negli strati profondi. La seconda zona invece rappresenta quella porzione di suolo che trattiene l'acqua per capillarità e che quindi può variare il proprio contenuto d'acqua solo per evaporazione. Il processo di evapotraspirazione coinvolge prima l'acqua accumulata nelle porosità dello strato superiore del terreno e poi quella trattenuta per capillarità; il volume di acqua evapotraspirata si riduce al diminuire del contenuto d'acqua nel terreno a causa dell'aumento di resistenza nella rimozione delle particelle d'acqua legate al terreno (la tensione capillare è legata al contenuto d'acqua da una legge di potenza ad esponente negativo per cui diventa fortemente negativa per bassi valori di contenuto d'acqua).
- nello **strato profondo ('groundwater storage')** in cui, l'acqua percolata dagli strati superiori di terreno, è caratterizzata da flussi orizzontali e a lento scorrimento. La velocità di infiltrazione dipende dalla massima capacità di infiltrazione e dal contenuto d'acqua del terreno.

La precipitazione, ridotta della frazione trattenuta dalla vegetazione, è disponibile al terreno ed è quindi soggetta ai meccanismi di infiltrazione. Il volume d'acqua che si infila in un intervallo di tempo è funzione del volume d'acqua disponibile all'infiltrazione, delle condizioni di umidità del suolo e della massima velocità di infiltrazione, valore medio calcolato per ciascun sottobacino sulla base delle classi di permeabilità definite nella Carta dei suoli dell'Arpav.

Il massimo volume d'acqua immagazzinabile nel terreno è dato dal volume invasabile nelle porosità del suolo e dal volume trattenuto per capillarità e disponibile alle piante anche chiamato AWC (available water capacity).

La velocità di infiltrazione all'interno del suolo, funzione del contenuto d'acqua iniziale, del massimo volume d'acqua invasabile e della massima velocità di infiltrazione, varia linearmente tra il tasso di infiltrazione massimo ed il valore zero.

La percolazione dell'acqua verso gli strati più profondi del terreno e verso la falda avviene ad una velocità che dipende dalla massima velocità di percolazione (stimata all'incirca un terzo della velocità di infiltrazione massima), dalla frazione del volume di suolo superficiale disponibile effettivamente occupato dall'acqua e dalla frazione di volume di suolo profondo disponibile all'invaso effettivamente occupato dall'acqua. Il tasso di percolazione è tanto maggiore quanto più è

saturo lo strato superiore di suolo ed è insaturo lo strato inferiore (massima velocità di percolazione) e diminuisce fino ad annullarsi al progressivo saturarsi dello strato che inferiormente riceve l'acqua. Il modello SMA implementato nel codice HEC-HMS fornisce la possibilità di disporre di un ulteriore serbatoio profondo ideale da cui percola verticalmente una frazione d'acqua considerata definitivamente persa ai fini del deflusso; questo secondo invaso è stato trascurato.

I volumi calcolati contribuiscono al flusso di portata con tempi diversi a seconda che siano superficiali o sub-superficiali e che sono rispettivamente dell'ordine di qualche ora e di qualche decina di ore.

L'evapotraspirazione è un processo che coinvolge inizialmente l'acqua intercettata dalla vegetazione, e secondariamente l'acqua presente nella superficie e nello strato collaborante di suolo dove viene innanzitutto intaccato il volume accumulato nelle porosità del terreno e secondariamente le particelle trattenute per capillarità. Nel caso in cui sia la 'tension zone' ad essere coinvolta l'evapotraspirazione è una frazione dell'evapotraspirazione potenziale e diminuisce al diminuire del contenuto d'acqua nel terreno.

1.1.1.2 Modello di separazione dei deflussi ad evento: SCS

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

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

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

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

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

Le equazioni del metodo SCS da applicare sono le seguenti:

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

con Q deflusso in mm
 P precipitazione in mm
 S volume immagazzinabile nel terreno in mm

CN numero di curva caratteristico del terreno considerato.

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

Le equazioni si applicano non solo con riferimento ai valori complessivi di un evento, ma anche alla loro variazione nel tempo, per cui la frazione di pioggia efficace ΔQ in un intervallo Δt nel quale sia piovuto ΔP è pari a:

$$\begin{aligned}\Delta Q &= Q(t + \Delta t) - Q(t) = \frac{(P(t + \Delta t) - 0.20 S)^2}{P(t + \Delta t) + 0.80 S} - \frac{(P(t) - 0.20 S)^2}{P(t) + 0.80 S} \\ &= \frac{(P(t) + \Delta P - 0.20 S)^2}{P(t) + \Delta P + 0.80 S} - \frac{(P(t) - 0.20 S)^2}{P(t) + 0.80 S} \quad \text{per } P > 0.2 S \\ &\approx \Delta P \cdot \left(\frac{P(t) - 0.20 S}{P(t) + 0.80 S} \right) \cdot \left(2 - \frac{P(t) - 0.20 S}{P(t) + 0.80 S} \right)\end{aligned}$$

Il coefficiente di deflusso Φ , inteso come rapporto tra precipitazione efficace e precipitazione totale, dipende dalla tipologia di terreno, per effetto del parametro S , e dall'altezza di precipitazione complessiva P .

Il coefficiente di deflusso medio dell'evento Q/P presenta valori crescenti all'aumentare di P . Anche il coefficiente di deflusso marginale $\Delta Q/\Delta P$ aumenta progressivamente al progredire dell'evento e tende asintoticamente al valore 1.

Nelle figure seguenti si riportano alcuni abachi che in funzione del parametro P , da intendersi come altezza di precipitazione cumulata osservata fino a un dato momento, restituiscono rispettivamente la precipitazione efficace totale, il coefficiente di deflusso medio fino a quell'istante e il coefficiente di deflusso marginale o istantaneo, cioè la proporzione di precipitazione efficace che si genera in quello stadio dell'evento.

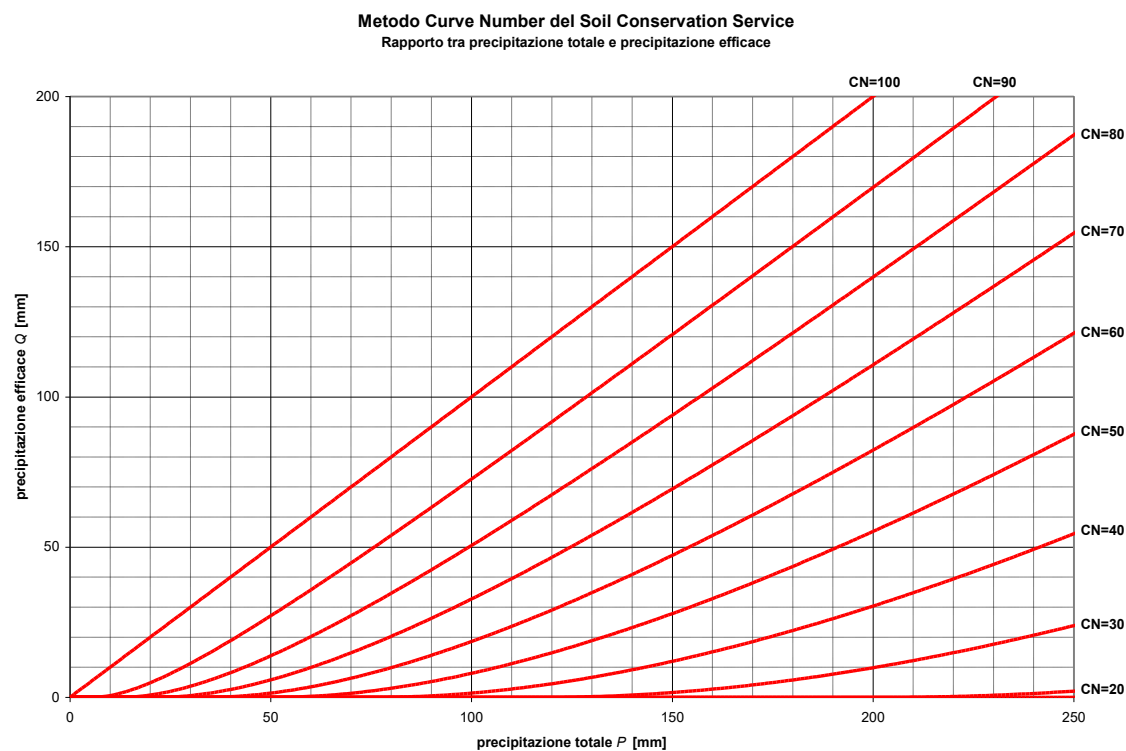


Figura 1.2: Valori di precipitazione efficace in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

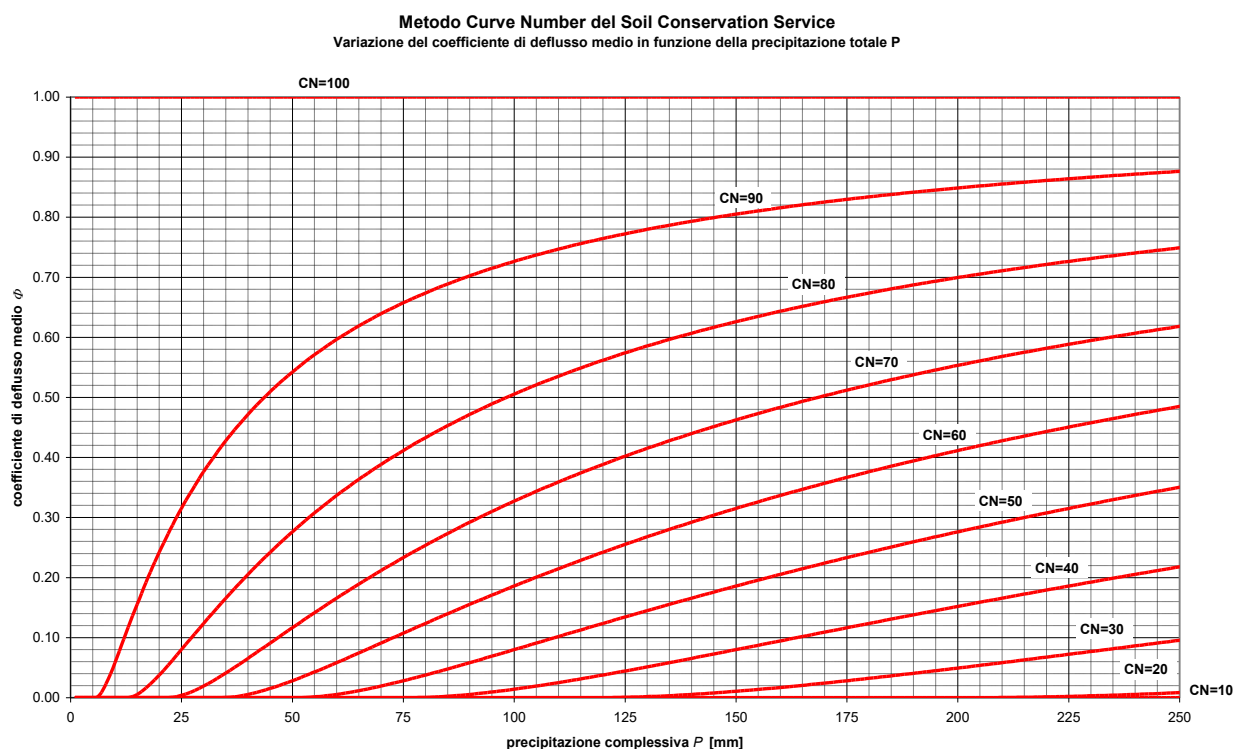


Figura 1.3:
Valori di coefficiente di deflusso medio in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

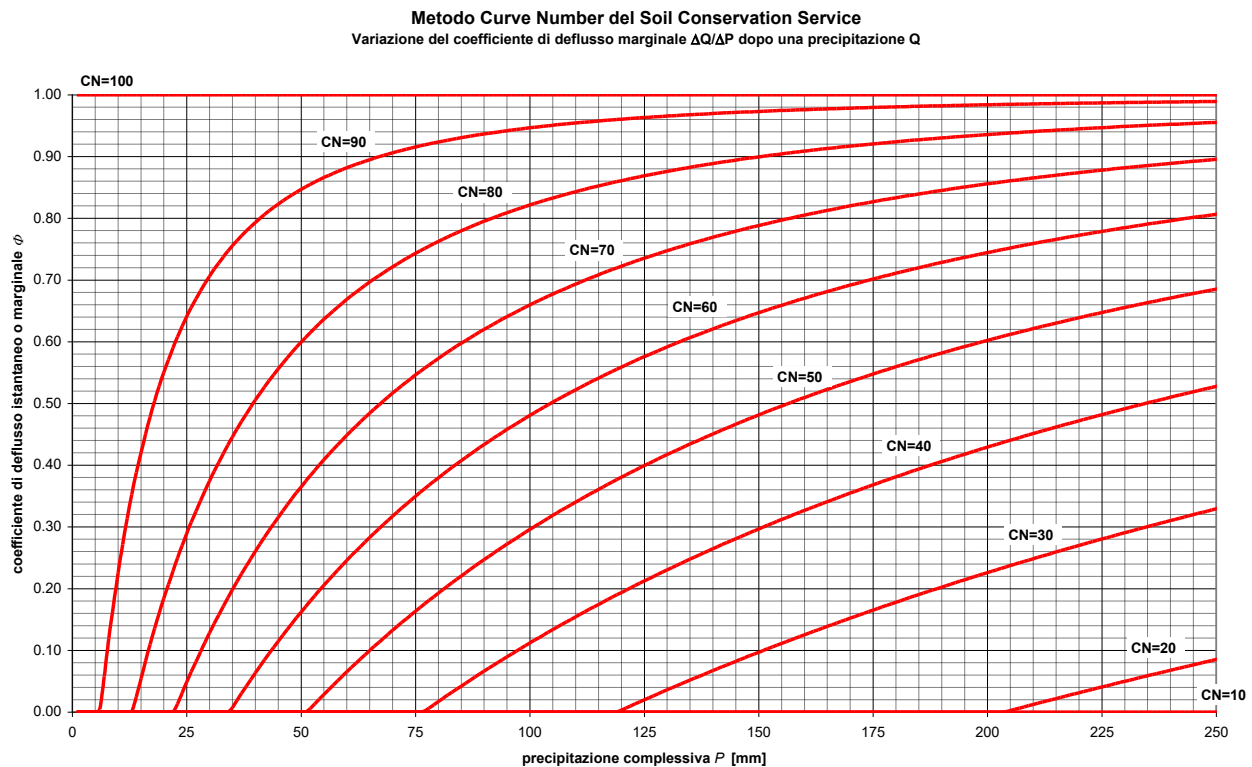


Figura 1.4: Valori di coefficiente di deflusso marginale o istantaneo in funzione della precipitazione totale e del parametro CN secondo il metodo SCS.

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

Secondo lo schema descritto i suoli sono divisi in tre classi, per quanto riguarda l'insieme delle condizioni d'uso del suolo (tipologia di destinazione d'uso, trattamento della superficie e condizioni di drenaggio) ed in base a quattro gruppi per quanto riguarda la capacità di infiltrazione del terreno. I suoli costituiti principalmente da sabbie e ghiaie di notevole spessore sono caratterizzati da drenaggio buono o alto e presentano un tasso di infiltrazione elevato anche in condizioni di notevole imbibizione (classe A, suoli a basso potenziale di scorrimento). La classe B di suoli è caratterizzata da una tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con un drenaggio da moderatamente buono a buono ed un tasso di infiltrazione moderato in condizioni di imbibizione elevata. I terreni poco permeabili rientrano nelle classi C e D. I terreni di classe C sono costituiti da suoli con tessitura da moderatamente fine a fine e presentano un basso tasso di infiltrazione; i terreni di classe D caratterizzati da tasso di infiltrazione molto basso, comprendono principalmente suoli argillosi ad alto potenziale di rigonfiamento o terreni caratterizzati da piccoli spessori giacenti su materiale pressoché impermeabile.

I valori del parametro CN si riferiscono a tre diverse condizioni di umidità del terreno definite condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Condition, AMC) l'evento di pioggia. La categoria AMC-I caratterizza i suoli sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o una coltivazione soddisfacente e che abbiano perciò un potenziale di scorrimento superficiale minimo; la categoria AMC-II rappresenta la condizione media di umidità del terreno e a tale situazione si fa

riferimento per l'attribuzione dei valori di CN. Infine la categoria AMC-III contempla la condizione in cui i terreni siano praticamente saturati dalle precedenti piogge e in tale situazione il potenziale di scorrimento superficiale risulta massimo. Una volta assegnati, sulla base di valori di letteratura, i CN della categoria AMC-II, è possibile determinare i valori di CN riferibili alle rimanenti due categorie attraverso alcune relazioni analitiche che per brevità non riportiamo in questa sede.

La categoria a cui fare riferimento per l'applicazione del modello è individuata in base alla precipitazione totale dei 5 giorni antecedenti l'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o di riposo).

A partire dai valori di permeabilità medi calcolati come esposto in precedenza, a ciascuna unità elementare cartografica è stata associata una classe di permeabilità SCS (gruppi A, B, C, D); tale informazione, unita alla destinazione d'uso del suolo, ha permesso di attribuire un valore di CN a ciascuna unità cartografica.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza; il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno standard del 5 %, che non possono essere attribuite ai territori di bonifica i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.0 - 0.1 % (Figura 1.5).

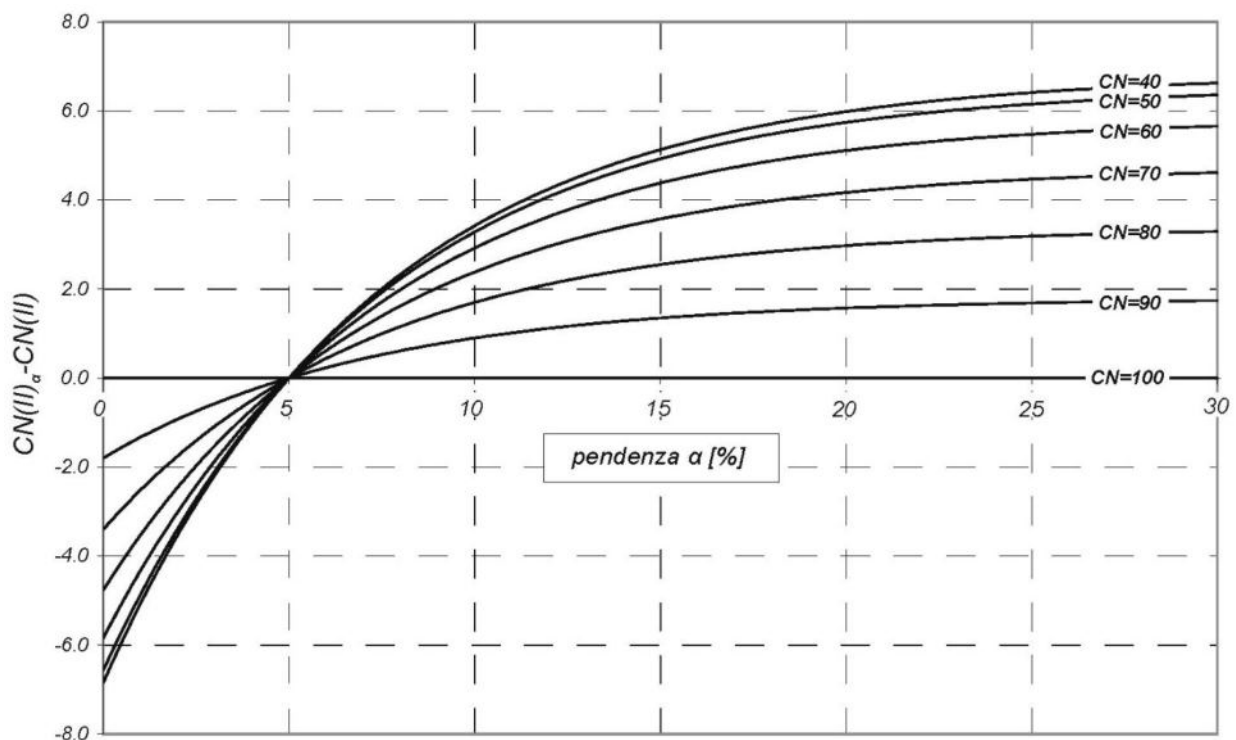


Figura 1.5: Correzione del CN in funzione della pendenza

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

1.1.1.3 Modello di Clark

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

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

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

Con tale curva standard, i parametri del modello di Clark sono due: il parametro k del bacino lineare e il tempo di corrivazione del bacino. In letteratura è spesso considerato come invariante il rapporto $k/(t_{corr} + k)$, ritenendolo funzione della sola tipologia dei bacini. Il significato fisico dei parametri consente solo in parte una loro stima, se pure entrambe possano essere valutate con formule empiriche. Per determinare t_{corr} è stata utilizzata la formula del metodo SCS, nella quale il tempo di ritardo è stato calcolato utilizzando la formula di Mockus, mentre per la determinazione del parametro k , che in genere presenta una non facile valutazione, si è fatto riferimento alla stima empirica proposta da Sabol¹. Si riportano di seguito le due formulazioni:

$$t_{corr} = \frac{1}{0.6} \cdot t_r = \frac{1}{0.6} \cdot \left[0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \right]$$

$$k = \frac{t_{corr}}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}}$$

dove il tempo di corrivazione t_{corr} è espresso in ore, l'area A in km², la lunghezza di percorso L in km, s è la pendenza del bacino espressa in %,

Il parametro k , in ore, risulta di più difficile valutazione e per questo viene ulteriormente calibrato fino ad ottenere valori realistici per l'area di studio. Nelle simulazioni analizzate nel presente Piano, il parametro k viene moltiplicato con un coefficiente correttivo pari a 1.3, che consente di ottenere una migliore corrispondenza tra i risultati simulati e quelli analitici.

Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**1 sono riportati i valori ottenuti per ciascun sottobacino del tempo di corrivazione t_{corr} e del parametro k .

¹ George V. Sabol (1988), "Clark Unit Hydrograph and R-Parameter Estimation", Journal of Hydraulic Engineering}, Volume 114-1, pages 103-111.

1.1.1.4 *L'attribuzione del CN e dei parametri idraulici ai sottobacini*

I meccanismi di scorrimento ed infiltrazione dell'acqua nel terreno, la cui conoscenza risulta indispensabile per la comprensione della risposta idrologica di un bacino ad eventi di precipitazione, sono descritti da equazioni di bilancio del contenuto medio dell'acqua nel suolo. Le ipotesi alla base della risoluzione di tali equazioni ed i metodi di calcolo caratterizzano i numerosi modelli di infiltrazione noti in letteratura idrologica.

I meccanismi secondo cui la precipitazione che raggiunge il suolo si ripartisce in una componente che si infiltra nel terreno ed in una componente che defluisce superficialmente possono seguire due schemi diversi: il meccanismo di Horton ed il meccanismo di Dunne. Nel primo caso il superamento della capacità di infiltrazione del terreno, caratteristica del suolo ad ogni istante temporale e decrescente nel tempo, determina la frazione di precipitazione che si infiltra e quella che va a costituire il deflusso superficiale. Secondo lo schema di Dunne invece, il deflusso superficiale si suppone generato da un eccesso di saturazione del suolo, dovuto all'innalzamento della superficie di falda.

Il metodo del CN, messo a punto dal Soil Conservation Service (SCS) statunitense, costituisce un modello di calcolo della componente di deflusso superficiale caratteristica di un evento di precipitazione da adoperarsi nello studio delle piene di piccoli bacini rurali, particolarmente per quelli non dotati di strumenti di misura.

Il modello SCS-CN è un modello empirico che considera entrambi i meccanismi di infiltrazione descritti in precedenza: a partire dall'istante in cui la precipitazione supera un valore iniziale di volume invasabile nel terreno si inizia ad osservare deflusso superficiale. La massima quantità d'acqua infiltrabile nel terreno limita asintoticamente il valore della portata defluita, definita per ogni istante di calcolo dall'afflusso meteorico depurato del volume iniziale infiltrato e della massima capacità di infiltrazione del terreno.

La quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno che definisce la relazione tra afflussi e deflussi in un bacino idrografico può essere descritta attraverso un parametro noto in letteratura ('*curve number*', di seguito CN) in cui sono sinteticamente contenute le informazioni relative alla capacità di infiltrazione del terreno (quattro classi di permeabilità), le informazioni relative allo stato di imbibizione del terreno (classi AMC) e le informazioni relative alla copertura di suolo.

Come le tipologie di classi di suolo sono spazialmente distribuite così anche le informazioni relative alla destinazione d'uso dei terreni tratte dalla carta d'Uso del Suolo della Regione Veneto (Figura 1.6); l'intersezione delle cartografie descritte ha quindi permesso di ottenere delle nuove unità cartografiche di maggior dettaglio definite da proprie caratteristiche di suolo e di utilizzo.

A partire dai valori di permeabilità medi calcolati come esposto in precedenza, a ciascuna unità elementare cartografica è stata associata una classe di permeabilità SCS (gruppi A, B, C, D); tale informazione, unita alla destinazione d'uso del suolo, ha permesso di attribuire un valore di CN a ciascuna unità cartografica.

Il valore del parametro CN non è indipendente dalla pendenza media del suolo; il valore di CN infatti aumenta all'aumentare della pendenza.

Il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno standard del 5%, che non possono essere attribuite ai territori di bonifica i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.1% (i comprensori di bonifica del Veneto hanno per l'80% circa una pendenza inferiore al 5%). Il valore di CN in condizioni medie di saturazione del

terreno è stato quindi corretto sulla base delle considerazioni espresse sopra (Figura 1.7). Calcolando a questo punto una media dei valori di CN per ciascun sottobacino, si ottengono i valori riportati in Tabella A. 1 riferiti ai rispettivi sottobacini raffigurati in Figura A. 8 e Figura A. 9, in cui i sottobacini di ordine inferiore sono stati raggruppati per bacini di primo ordine, in questo caso l'Astico- Tesina.

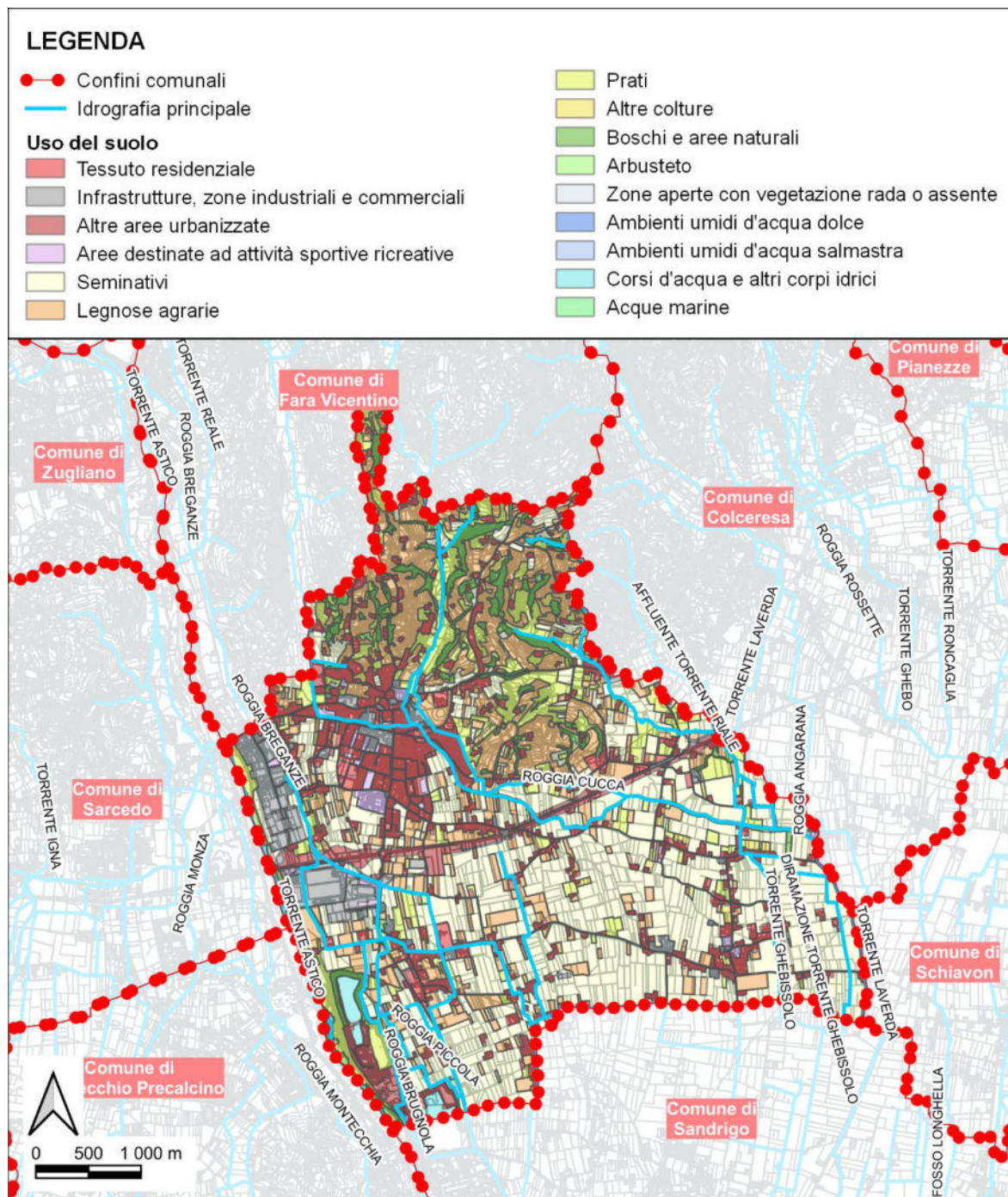


Figura 1.6: Rappresentazione delle classi di uso del suolo del territorio del comune di Breganze.

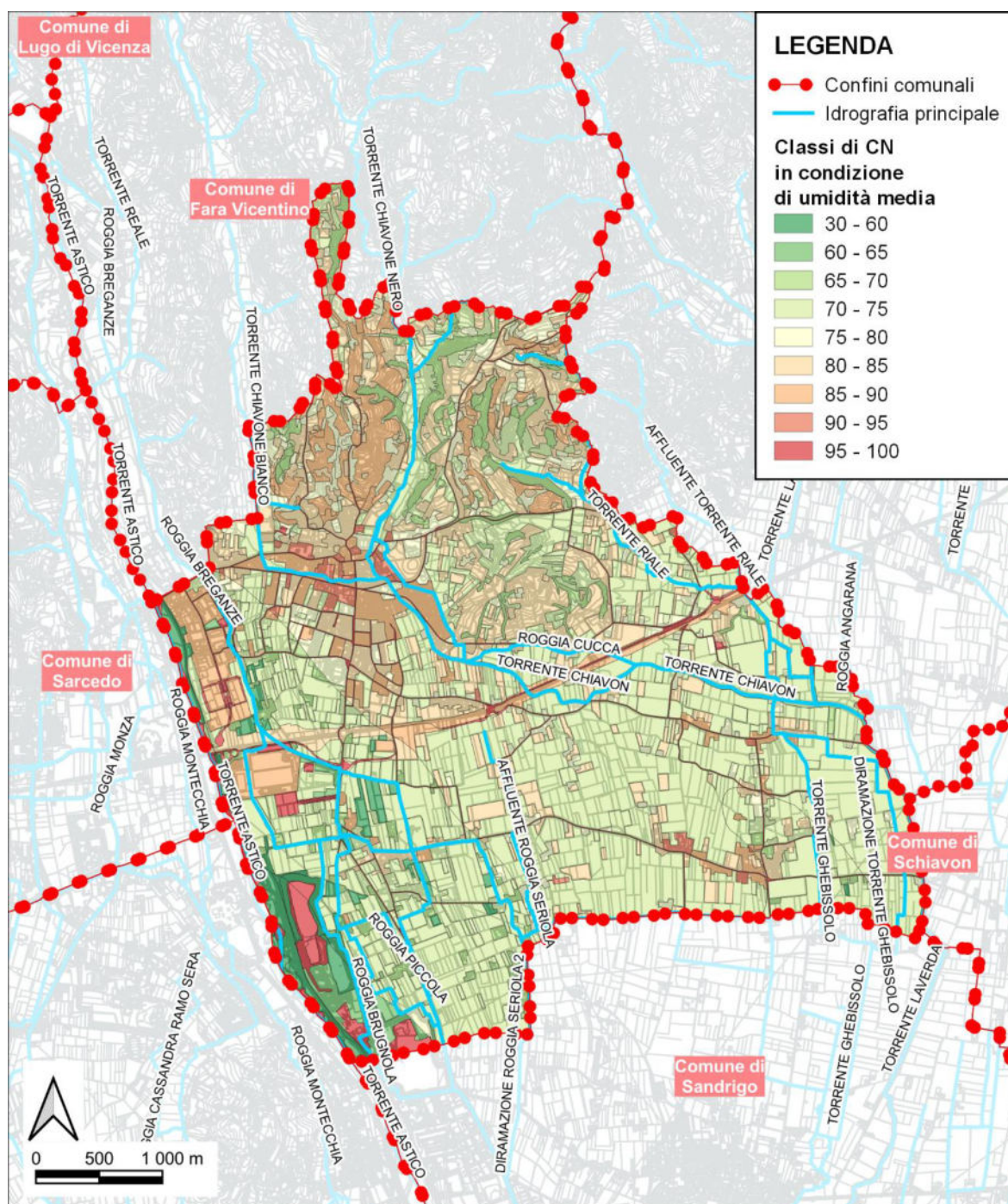


Figura 1.7: Rappresentazione del parametro CN del territorio del comune di Breganze.

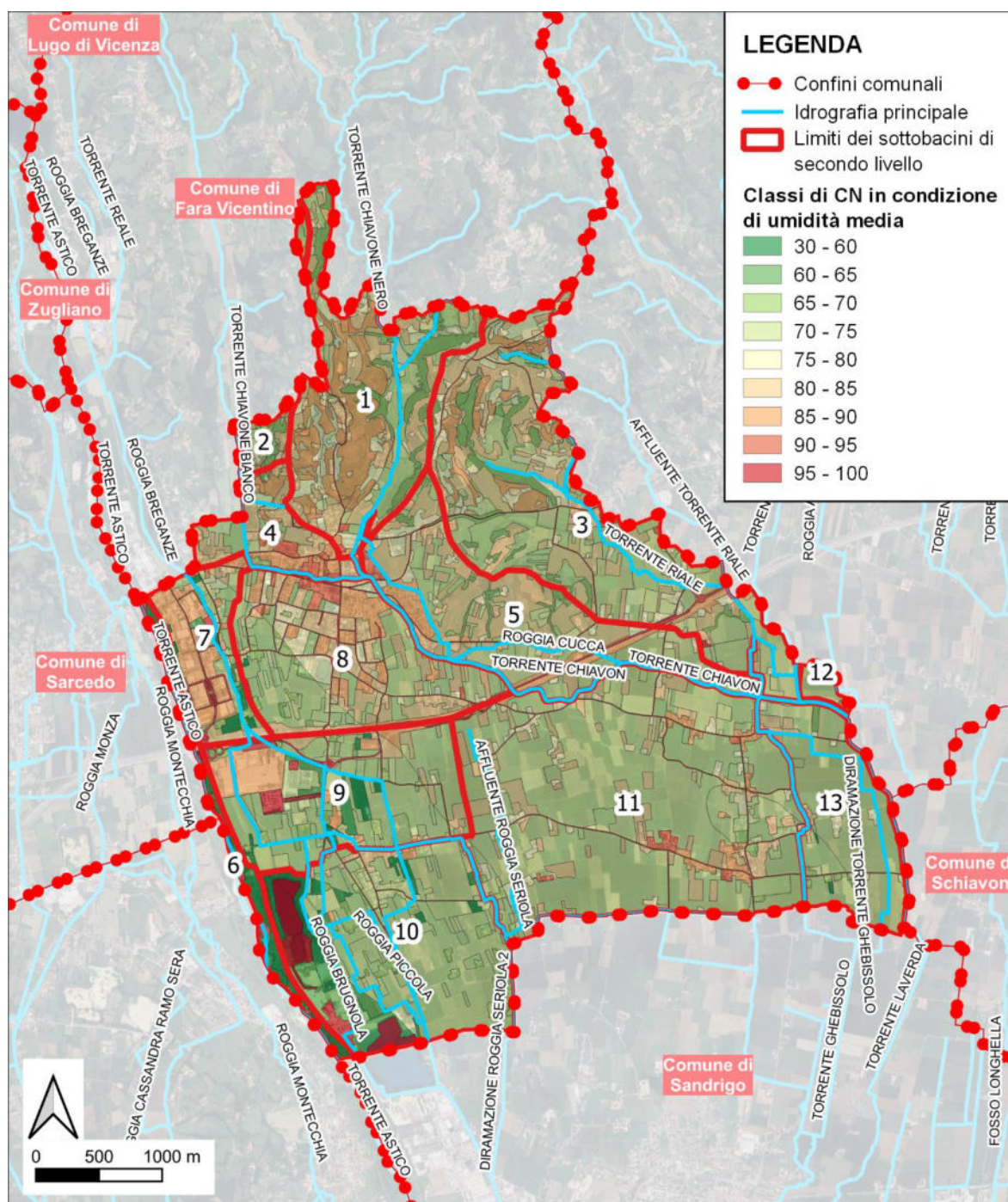


Figura 1.8: Rappresentazione dei CN dei sottobacini di secondo livello utilizzati per la modellazione

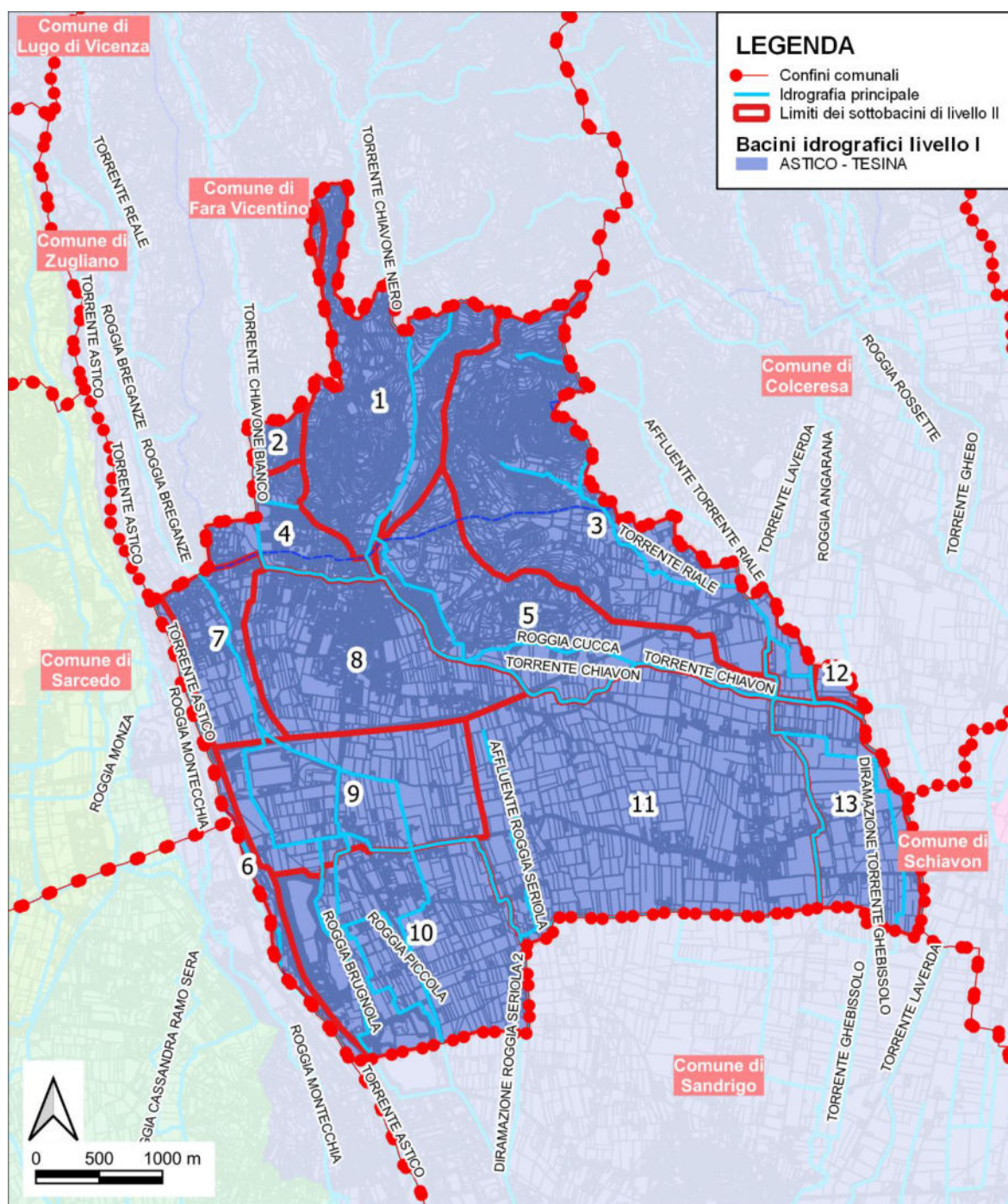


Figura 1.9: Rappresentazione dei bacini di primo livello secondo la classificazione del Consorzio di Bonifica Brenta e ARPAV, insieme alla delimitazione dei bacini di secondo livello utilizzata per la modellazione idrologica

Cod	Nome bacino	Area [ha]	CN	t _{corr} [ore]	K [ore]
1	Astico - Tesina - 01	212.52	79.11	0.87	0.94
2	Astico - Tesina - 02	21.28	75.76	0.28	0.26
3	Astico - Tesina - 03	333.15	77.53	2.20	6.22
4	Astico - Tesina - 04	60.50	83.12	0.84	1.14
5	Astico - Tesina - 05	197.20	80.22	1.83	3.14
6	Astico - Tesina - 06	38.44	64.27	2.69	1.49
7	Astico - Tesina - 07	78.85	80.96	1.41	1.51
8	Astico - Tesina - 08	190.91	80.22	1.58	1.48
9	Astico - Tesina - 09	187.18	76.15	1.58	1.44
10	Astico - Tesina - 10	255.37	71.89	1.79	1.72
11	Astico - Tesina - 11	469.45	75.99	3.50	3.42
12	Astico - Tesina - 12	9.44	74.68	0.64	0.62
13	Astico - Tesina - 13	123.67	75.08	2.29	2.54

Tabella 1: Caratteristiche geometriche e idrauliche dei sottobacini appartenenti al bacino Astico - Tesina

Il modello idrologico in esame vede implementato tutto il territorio comunale di Breganze. Come scritto in precedenza, Breganze è caratterizzato da un solo bacino di primo ordine: il bacino Astico - Tesina

A seguito del rilievo di campagna si è condotta una bacinizzazione più dettagliata tenendo conto dell'andamento della rete minore, dei limiti fisici esistenti (rilevati stradali, ferroviari, ecc.) e delle quote altimetriche dei territori.

Con il presente modello idrologico non si analizza e non si simula la rete di prima raccolta (capofossi, fossi e scoline) e la rete principale, ma si conduce la sola trasformazione di afflussi in deflussi. Sicuramente, non considerare la rete di scolo effettivamente presente, implica una inevitabile sovrastima delle portate generate da ciascun sottobacino. Queste sono state determinate mediante la modellazione con HEC-HMS. La soluzione individuata al fine d'interpretare l'effetto di laminazione prodotto dalla rete non implementata nel modello idraulico, consiste nel concettualizzare il significato del parametro CN del modello SCS-CN. Esso infatti descrive in modo sintetico la frazione di pioggia che si trasforma in afflusso alla rete ovvero, quasi banalizzando, il volume d'acqua che precipitato transita attraverso la sezione di chiusura del bacino sebbene concettualizzare il significato di tale parametro, abbassandolo convenientemente a simulare l'effetto dei volumi invasati lungo la rete secondaria, porta ad una riduzione del picco degli idrogrammi di piena generati da ciascun sottobacino.

1.1.1.5 Gli ietogrammi di progetto

Per le analisi idrologiche si sono indagati tre eventi meteorici caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 20 anni e a 50 anni.

A partire dalle altezze di pioggia attese è stato costruito uno ietogramma sintetico di progetto con un picco intermedio di intensità molto più simile ad un reale evento meteorico rispetto ad uno ietogramma costante che tenderebbe a sottostimare gli effetti sulla rete idrica.

Lo ietogramma è stato costruito assegnando una precipitazione di intensità variabile nel tempo di pioggia secondo la formulazione di Yen e Chow (1980) dalla forma triangolare e avente le seguenti caratteristiche:

- Durata complessiva di precipitazione t_p ;
- Intensità media $\bar{j} = h/t_p$;
- Intensità di punta $j_{picco} = 2\bar{j}$.

L'intensità di precipitazione è stata calcolata considerando il picco dello ietogramma al 40% (r) della durata della precipitazione e non a metà di t_p come sarebbe richiesto dalla teoria. Questa scelta è stata presa per poter riprodurre eventi maggiormente intensi all'inizio rispetto alla parte centrale del periodo di precipitazione, come avviene sempre più frequentemente nella realtà con scrosci violenti ma brevi. Questi fenomeni favoriscono l'instaurarsi di criticità idrauliche nel territorio per cui risulta essere maggiormente cautelativo utilizzare questo tipo di approccio.

Per realizzare uno ietogramma con questo metodo si procede integrando da sinistra utilizzando la seguente formulazione, fino a raggiungere l'intensità di picco j_{picco} a $t_p \cdot r$:

$$j = \frac{j_{picco}}{(t_p \cdot r)t_i}$$

dove t_i è il tempo relativo all'istante i dall'inizio dell'evento.

Dal picco fino al termine della precipitazione t_p si utilizza invece:

$$j = \frac{j_{picco}}{t_p(1-r)[t_p(1-r) - t_i]}$$

Nel grafico riportato di seguito in Figura sono rappresentati a confronto gli eventi di precipitazione delle durate di tre, sei e dodici ore per un tempo di ritorno di 20 anni mentre in il confronto tra gli eventi delle medesime durate è stato fatto per un tempo di ritorno di 50 anni.

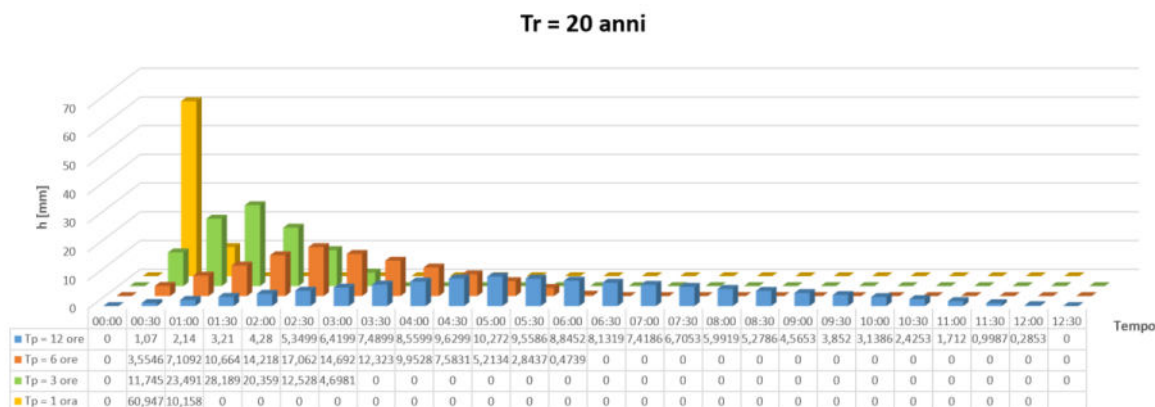


Figura 1.10: Confronto degli eventi di precipitazione della durata di uno, tre, sei e dodici ore per Tr = 20 anni.

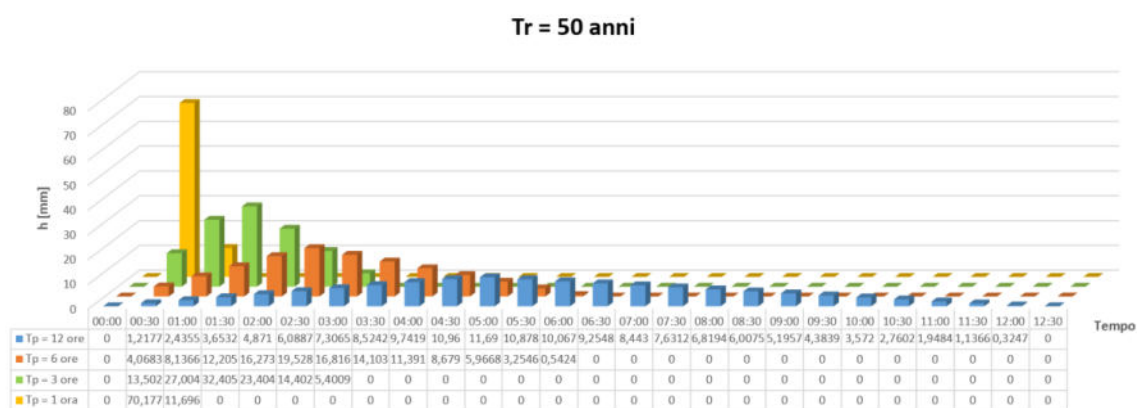


Figura 1.11: Confronto degli eventi di precipitazione della durata di uno, tre, sei e dodici ore per Tr = 50 anni.

1.1.1.6 I risultati del modello idrologico

Gli idrogrammi di piena generati da ciascun bacino di secondo livello e determinati mediante l'impiego del modello idrologico HEC-HMS con i parametri definiti in precedenza sono riportati da Figura A. 12 a Figura A. 18 con riferimento al tempo di ritorno pari a 20 anni e da Figura A. 19 a Figura A. 25 relativamente ad un tempo di ritorno di 50 anni. Nella fattispecie, per ogni bacino, si è plottato l'idrogramma di piena in uscita al variare del tempo di pioggia, 1 ora, 3 ore, 6 ore e 12 ore per i tempi di ritorno di 20 e 50 anni.

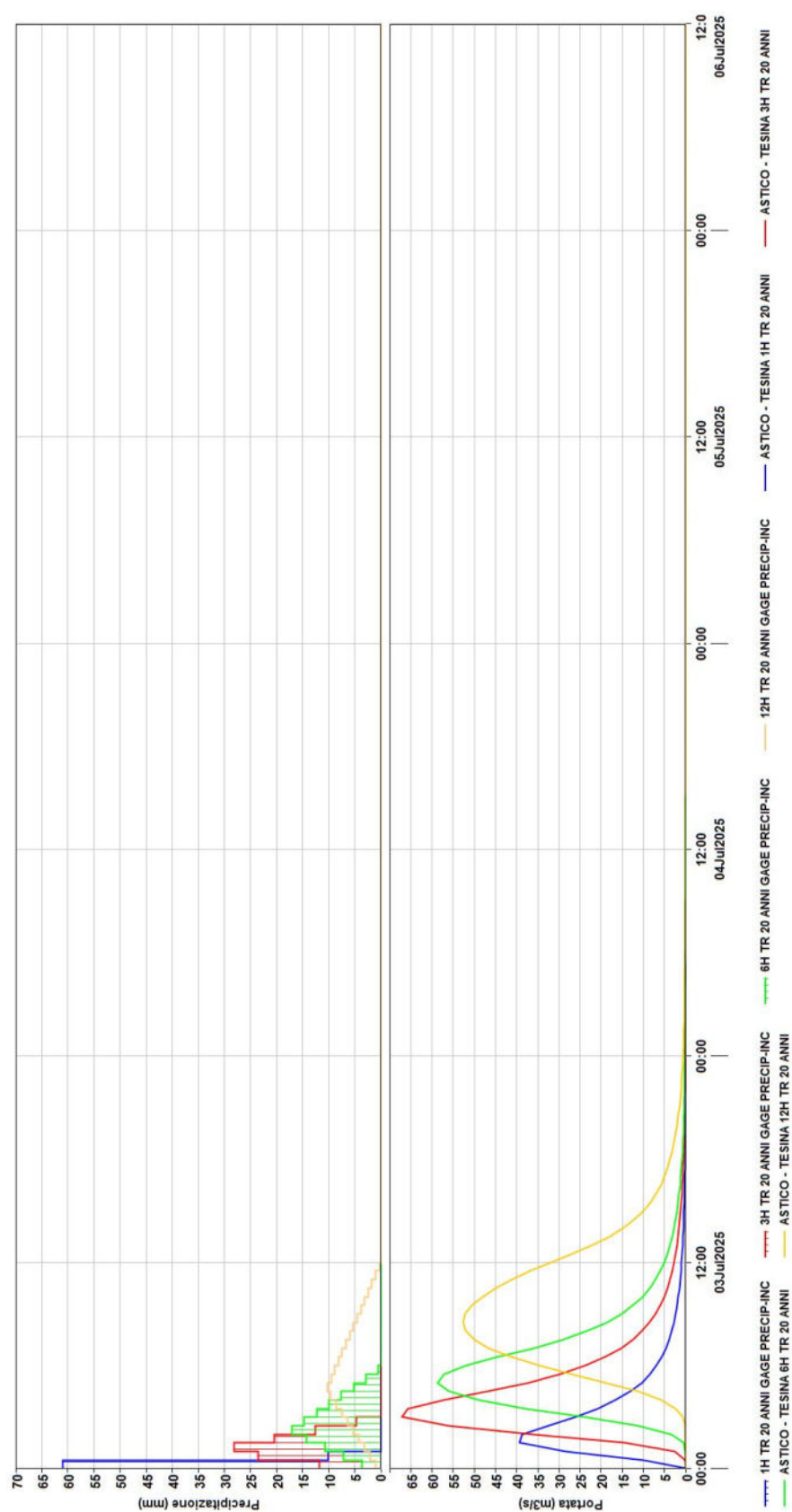


Figura 1.12: Confronto degli idrogrammi di piena in uscita dal bacino Astico - Tesina; $Tr = 20$ anni.

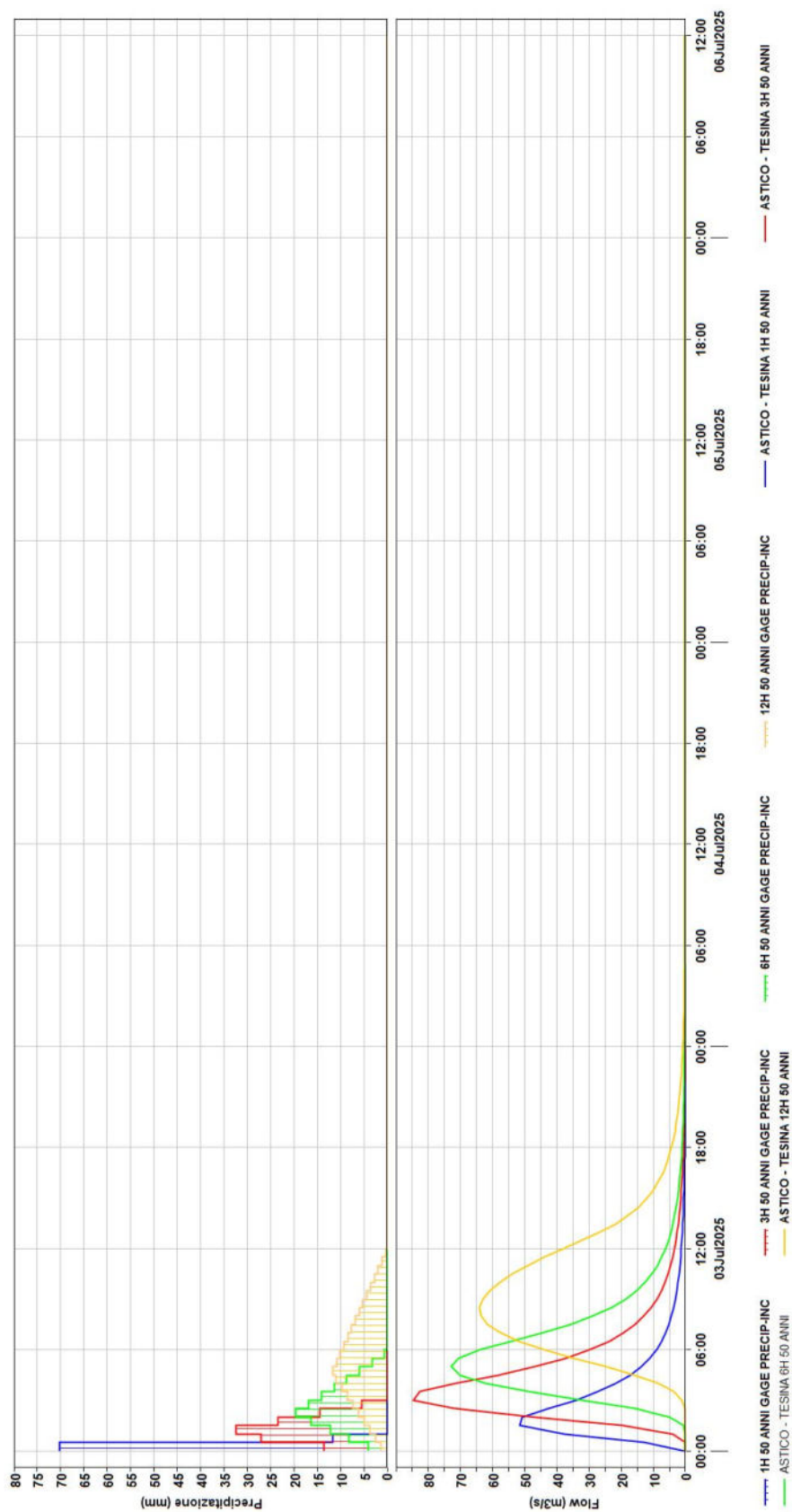


Figura 1.13: Confronto degli idrogrammi di piena in uscita dal bacino Astico - Tesina; $T_r = 50$ anni.

N.	Nome sottobacino	Tr = 20 anni Picco di portata [mc/s]			
		t _p = 1 ore	t _p = 3 ore	t _p = 6 ore	t _p = 12 ore
1	Astico - Tesina - 01	8.1	12.0	9.0	6.9
2	Astico - Tesina – 02	1.3	1.6	1.0	0.7
3	Astico - Tesina – 03	2.9	5.3	5.1	5.5
4	Astico - Tesina – 04	2.6	3.6	2.8	2.2
5	Astico - Tesina – 05	3.4	5.8	5.2	4.9
6	Astico - Tesina – 06	0.3	0.8	0.7	0.7
7	Astico - Tesina – 07	2.4	3.8	3.0	2.5
8	Astico - Tesina – 08	5.6	8.7	7.2	5.9
9	Astico - Tesina - 09	4.5	7.4	6.2	5.2
10	Astico - Tesina – 10	4.2	7.7	6.6	5.9
11	Astico - Tesina – 11	5.3	9.9	9.6	9.7
12	Astico - Tesina – 12	0.4	0.5	0.4	0.3
13	Astico - Tesina – 13	1.8	3.3	3.0	2.8

Tabella 2: Picco di portata per ogni sottobacino di secondo ordine tempo di ritorno 20 anni

N.	Nome sottobacino	Tr = 50 anni			
		Picco di portata [mc/s]			
		t _p = 1 ore	t _p = 3 ore	t _p = 6 ore	t _p = 12 ore
1	Astico - Tesina - 01	10.5	15.0	11.1	8.4
2	Astico - Tesina – 02	1.7	2.0	1.2	0.8
3	Astico - Tesina – 03	3.8	6.6	6.4	6.7
4	Astico - Tesina – 04	3.3	4.5	3.4	2.6
5	Astico - Tesina – 05	4.4	7.2	6.4	5.9
6	Astico - Tesina – 06	0.5	1.1	0.9	0.9
7	Astico - Tesina – 07	3.1	4.6	3.7	3.0
8	Astico - Tesina – 08	7.2	10.9	8.7	7.1
9	Astico - Tesina - 09	5.9	9.4	7.7	6.3
10	Astico - Tesina – 10	5.7	9.9	8.3	7.3
11	Astico - Tesina – 11	7.1	12.5	12.0	11.9
12	Astico - Tesina – 12	0.5	0.7	0.5	0.3
13	Astico - Tesina – 13	2.4	4.2	3.7	3.4

Tabella 2: Picco di portata per ogni sottobacino di secondo ordine tempo di ritorno 50 anni

Nella tabella seguente invece si riportano i valori di coefficiente udometrico ottenuti dall'elaborazione per ogni sottobacino considerato.

N.	Nome sottobacino	Tr = 20 anni			
		Coefficiente udometrico u [l/s ha]			
		t _p = 1 ore	t _p = 3 ore	t _p = 6 ore	t _p = 12 ore
1	Astico - Tesina - 01	38.11	56.47	42.35	32.47
2	Astico - Tesina – 02	61.08	75.17	46.98	32.89
3	Astico - Tesina – 03	8.70	15.91	15.31	16.51
4	Astico - Tesina – 04	42.98	59.51	46.28	36.37
5	Astico - Tesina – 05	17.24	29.41	26.37	24.85
6	Astico - Tesina – 06	7.81	20.81	18.21	18.21
7	Astico - Tesina – 07	30.44	48.19	38.05	31.70
8	Astico - Tesina – 08	29.33	45.57	37.71	30.90
9	Astico - Tesina - 09	24.04	39.53	33.12	27.78
10	Astico - Tesina – 10	16.45	30.15	25.84	23.10
11	Astico - Tesina – 11	11.29	21.09	20.45	20.66
12	Astico - Tesina – 12	42.38	52.97	42.38	31.78
13	Astico - Tesina – 13	14.56	26.68	24.26	22.64

Tabella 3: Coefficiente udometrico per ogni sottobacino di secondo ordine tempo di ritorno 20 anni

N.	Nome sottobacino	Tr = 50 anni			
		Coefficiente udometrico u [l/s ha]			
		t _p = 1 ore	t _p = 3 ore	t _p = 6 ore	t _p = 12 ore
1	Astico - Tesina - 01	49.41	70.58	52.23	39.53
2	Astico - Tesina – 02	79.87	93.97	56.38	37.59
3	Astico - Tesina – 03	11.41	19.81	19.21	20.11
4	Astico - Tesina – 04	54.55	74.38	56.20	42.98
5	Astico - Tesina – 05	22.31	36.51	32.45	29.92
6	Astico - Tesina – 06	13.01	28.62	23.42	23.42
7	Astico - Tesina – 07	39.31	58.34	46.92	38.05
8	Astico - Tesina – 08	37.71	57.09	45.57	37.19
9	Astico - Tesina - 09	31.52	50.22	41.14	33.66
10	Astico - Tesina – 10	22.32	38.77	32.50	28.59
11	Astico - Tesina – 11	15.12	26.63	25.56	25.35
12	Astico - Tesina – 12	52.97	74.16	52.97	31.78
13	Astico - Tesina – 13	19.41	33.96	29.92	27.49

Tabella 3: Coefficiente udometrico per ogni sottobacino di secondo ordine tempo di ritorno 50 anni

2 VERIFICHE IDRAULICHE INTERVENTI MINORI

Per gli interventi contenuti nel presente piano, dove si prevedono semplici espurghi della rete, manutenzioni straordinarie e risezionamenti di affossature di ordine inferiore, o la realizzazione di qualche tratto di fognatura e di rete di drenaggio, si conduce una analisi speditiva volta a verificare che la rete di recapito di valle non risulti sofferente a causa degli incrementi di portata che potrebbero verificarsi a seguito degli interventi.

Per ogni intervento, a partire dai coefficienti idrometrici ottenuti con tempo di ritorno di 20 e 50 anni, si è calcolata la portata in uscita dal bacino afferente alla rete di recapito delle portate relative alla rete oggetto di intervento caratterizzate da un tempo di pioggia di 3 ore. Di seguito nell'ipotesi di moto uniforme si è verificato che la sezione delle condotte di raccolta delle acque/rete minore fosse sufficiente a ricevere le portate in arrivo.

Nei prossimi paragrafi sono riportate:

- per quanto riguarda le verifiche della rete di fognatura, le caratteristiche della rete fognaria, la portata in arrivo, la portata massima della condotta in esame e il tirante;
- per quanto riguarda la rete minore, le caratteristiche della rete di recapito, la portata in arrivo, e il tirante di moto uniforme a confronto con la profondità dell'affossatura di recapito.

2.1 CR_01 – INT_01: VIA MAGLIO

VERIFICA IDRAULICA SUL FOSSO DA REALIZZARE (INT_01_02)

VERIFICA SDF:

- $Tr = 20$ anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
4	60.56	59.51	→	3.604

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di fatto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
1	1	1	0.80%	25

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di fatto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
3.604	>	1.075	→	sezione non idonea

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

VERIFICA SDP:

- **Tr = 20 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
4	60.56	74.38	→	4.504

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
1.5	1.5	1	0.80%	70

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]	
4.504	<	5.340	→ sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
1	>	0.72	→ adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
4	60.56	74.38	→	4.504

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
1.5	1.5	1	0.80%	70

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
4.504	<	5.338	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
1	>	0.80	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

2.2 CR_04 – INT_04_01: VIA RIVA

VERIFICA IDRAULICA SULLA CONDOTTA DI FOGNATURA DA REALIZZARE (INT_04_02)

VERIFICA SDP:

- $T_r = 20$ anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo alla condotta di recapito Q [m ³ /s]
1	10.15	38.11	→	0.39

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.6	1.00%	85	0.125	0,1963

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo alla condotta di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.39	<	0.68	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.36	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo alla condotta di recapito Q [m ³ /s]
1	10.15	49.41	→	0.50

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.6	1.00%	85	0.125	0,1963

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo alla condotta di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.50	<	0.68	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.40	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

2.3 CR_06 – INT_06: VIA CITTÀ DI HEVES

VERIFICA IDRAULICA SUL FOSSO DA REALIZZARE (INT_06_01)

VERIFICA SDP:

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
8	11.93	45.57	→	0.54

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	Ks [m ^{1/3} s ⁻¹]
1	3.4	1.2	0	45

Il dimensionamento e la verifica dell'efficienza idrologico-idraulica del fosso di infiltrazione sono stati condotti attraverso un bilancio cumulato nel tempo fra il volume d'acqua potenzialmente entrante al perdurare della precipitazione, $Ve(t)$, e quello gestito dal sistema $Vg(t)$.

Il volume entrante viene calcolato come segue:

$$Ve(t) = \varphi \cdot A \cdot a \cdot t^n [m^3]$$

Dove:

- φ [-] = coefficiente di deflusso medio dell'area da drenare;
- A [m²] = area del fosso di infiltrazione;
- a, n [-] = parametri della curva segnalatrice.

Il volume gestito dal bacino di infiltrazione è dato dalla somma di tre contributi:

$$Vg(t) = (Vsup + Vstor) + Vinf(t) [m^3]$$

- $Vsup$ è il massimo volume che può essere invasato in superficie.

$$Vsup = Ai \cdot h \text{ tirante} [m^3]$$

Dove:

- Ai [m²] = area della superficie drenante, area del bacino di infiltrazione;
 - $h \text{ tirante}$ [m] = valore medio del tirante nel bacino.
- $Vstor$ è il massimo volume che può essere invasato nello strato di materiale drenante posto sotto lo strato di terreno vegetale (la capacità di invaso di quest'ultimo è stata trascurata, ipotizzando un livello di umidità del terreno molto elevato già prima dell'inizio dell'evento di pioggia). La tipologia di materiale granulare impiegato nello strato drenante influisce sul volume invasato, in quanto questo è legato al riempimento dei vuoti.

$$Vstor = Sd \cdot Ai \cdot p [m^3]$$

Dove:

- Sd [m] = spessore strato drenante;
 - p [-] = porosità del materiale.
- $V_{inf}(t)$ è il volume che viene infiltrato sotto e perimetralmente allo strato drenante ed è legata alla profondità della falda nella zona interessata dal fosso di infiltrazione. Se si trascura la dispersione laterale, il moto di filtrazione mezzo saturo ha luogo solo verticalmente con gradiente idraulico unitario (moto verticale) secondo la legge di filtrazione di Darcy; sotto questa particolare condizione la velocità media apparente di filtrazione coincide con permeabilità del terreno K_{sat} [m/s].

$$V_{inf}(t) = K_{sat} \cdot A_i \cdot t \text{ [m}^3\text{]}$$

La verifica dell'efficienza idrologico-idraulica permette di determinare se il bacino di infiltrazione è soggetto ad una condizione di criticità idraulica, che si verifica quando questo non è più in grado di gestire il volume in ingresso, cioè quando:

$$V_e(t) > V_g(t)$$

Nel caso in esame si sono assunti i seguenti valori:

- $V_e = 6220 \text{ m}^3$: volume massimo entrante nel bacino. Tale valore è riferito alla capienza massima assegnata al bacino;
- $A_i = 315 \text{ m}^2$: superficie del bacino di infiltrazione;
- $h_{tirante} = 1,0 \text{ m}$;
- $Sd = 0,4 \text{ m}$;
- $p = 0.4$: strato drenante in ghiaia in entrambi i bacini;
- $K_{sat} = 10^{-3} \text{ m/s}$: area caratterizzata dalla presenza di sabbia e ghiaia pulita.

Le condizioni al contorno del fosso di infiltrazione sono le seguenti:

- Il fosso all'inizio dell'evento è vuoto;
- Velocità di infiltrazione costante;
- Il grado di saturazione iniziale del terreno non influisce sui processi di infiltrazione;
- Falda sufficientemente profonda rispetto al fondo del fosso.

Ne deriva che nel caso con permeabilità del terreno pari a $k=10^{-3} \text{ m/s}$, il tempo di svuotamento del bacino per sola infiltrazione sarebbe di circa 12 ore.

2.4 CR_08 – INT_08: VIA CHIESA

VERIFICA IDRAULICA SUI FOSSI DI INFILTRAZIONE DA REALIZZARE (INT_08_01 E INT_08_03)

VERIFICA SDP FOSSO INT_08_01

- Tr = 50 anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza [ha]	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m3/s]
11	14.12	21.09	→	0.30

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	Ks [m ^{1/3} s ⁻¹]
1.2	3.6	1.2	0	45

VERIFICA SDP FOSSO INT_08_03

- Tr = 50 anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza [ha]	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m3/s]
11	9.88	21.09	→	0.21

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	Ks [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	3.2	1.0	0	45

VERIFICA SDP FOSSO INT_08_05

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza [ha]	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m3/s]
11	2.01	21.09	→	0.042

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	Ks [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	3.2	1.0	0	45

Il dimensionamento e la verifica dell'efficienza idrologico-idraulica del fosso di infiltrazione sono stati condotti attraverso un bilancio cumulato nel tempo fra il volume d'acqua potenzialmente entrante al perdurare della precipitazione, $Ve(t)$, e quello gestito dal sistema $Vg(t)$.

Il volume entrante viene calcolato come segue:

$$Ve(t) = \varphi \cdot A \cdot a \cdot t^n [m^3]$$

Dove:

- φ [-] = coefficiente di deflusso medio dell'area da drenare;
- A [m²] = area del fosso di infiltrazione;
- a, n [-] = parametri della curva segnalatrice.

Il volume gestito dal bacino di infiltrazione è dato dalla somma di tre contributi:

$$Vg(t) = (Vsup + Vstor) + Vinf(t) [m^3]$$

- $Vsup$ è il massimo volume che può essere invasato in superficie.

$$Vsup = Ai \cdot h \text{ tirante} [m^3]$$

Dove:

- Ai [m²] = area della superficie drenante, area del bacino di infiltrazione;
- $h \text{ tirante}$ [m] = valore medio del tirante nel bacino.

- $Vstor$ è il massimo volume che può essere invasato nello strato di materiale drenante posto sotto lo strato di terreno vegetale (la capacità di invaso di quest'ultimo è stata trascurata, ipotizzando un livello di umidità del terreno molto elevato già prima dell'inizio dell'evento di pioggia). La tipologia di materiale granulare impiegato nello strato drenante influisce sul volume invasato, in quanto questo è legato al riempimento dei vuoti.

$$Vstor = Sd \cdot Ai \cdot p [m^3]$$

Dove:

- Sd [m] = spessore strato drenante;
- p [-] = porosità del materiale.

- $V_{inf}(t)$ è il volume che viene infiltrato sotto e perimetralmente allo strato drenante ed è legata alla profondità della falda nella zona interessata dal fosso di infiltrazione. Se si trascura la dispersione laterale, il moto di filtrazione mezzo saturo ha luogo solo verticalmente con gradiente idraulico unitario (moto verticale) secondo la legge di filtrazione di Darcy; sotto questa particolare condizione la velocità media apparente di filtrazione coincide con permeabilità del terreno K_{sat} [m/s].

$$V_{inf}(t) = K_{sat} \cdot A_i \cdot t \text{ [m}^3\text{]}$$

La verifica dell'efficienza idrologico-idraulica permette di determinare se il bacino di infiltrazione è soggetto ad una condizione di criticità idraulica, che si verifica quando questo non è più in grado di gestire il volume in ingresso, cioè quando:

$$V_e(t) > V_g(t)$$

Nel caso del fosso di infiltrazione dell'intervento INT_08_01 in esame si sono assunti i seguenti valori:

- $V_e = 7192.08 \text{ m}^3$: volume massimo entrante nel bacino. Tale valore è riferito alla capienza massima assegnata al bacino;
- $A_i = 315 \text{ m}^2$: superficie del bacino di infiltrazione;
- $h_{tirante} = 1,0 \text{ m}$;
- $S_d = 0,4 \text{ m}$;
- $p = 0.4$: strato drenante in ghiaia in entrambi i bacini;
- $K_{sat} = 10^{-3} \text{ m/s}$: area caratterizzata dalla presenza di sabbia e ghiaia pulita.

Le condizioni al contorno del fosso di infiltrazione sono le seguenti:

- Il fosso all'inizio dell'evento è vuoto;
- Velocità di infiltrazione costante;
- Il grado di saturazione iniziale del terreno non influisce sui processi di infiltrazione;
- Falda sufficientemente profonda rispetto al fondo del fosso.

Ne deriva che nel caso con permeabilità del terreno pari a $k=10^{-3} \text{ m/s}$, il tempo di svuotamento del bacino per sola infiltrazione sarebbe di circa 6 ore.

Nel caso del fosso di infiltrazione dell'intervento INT_08_03 in esame si sono assunti i seguenti valori:

- $V_e = 5032.00 \text{ m}^3$: volume massimo entrante nel bacino. Tale valore è riferito alla capienza massima assegnata al bacino;
- $A_i = 84 \text{ m}^2$: superficie del bacino di infiltrazione;
- $h_{tirante} = 1,0 \text{ m}$;
- $S_d = 0,4 \text{ m}$;
- $p = 0.4$: strato drenante in ghiaia in entrambi i bacini;
- $K_{sat} = 10^{-3} \text{ m/s}$: area caratterizzata dalla presenza di sabbia e ghiaia pulita.

Le condizioni al contorno del fosso di infiltrazione sono le seguenti:

- Il fosso all'inizio dell'evento è vuoto;
- Velocità di infiltrazione costante;
- Il grado di saturazione iniziale del terreno non influisce sui processi di infiltrazione;

- Falda sufficientemente profonda rispetto al fondo del fosso.

Ne deriva che nel caso con permeabilità del terreno pari a $k=10^{-3}$ m/s, il tempo di svuotamento del bacino per sola infiltrazione sarebbe di circa 12 ore.

Nel caso del fosso di infiltrazione dell'intervento INT_08_03 in esame si sono assunti i seguenti valori:

- $V_e = 2030.00 \text{ m}^3$: volume massimo entrante nel bacino. Tale valore è riferito alla capienza massima assegnata al bacino;
- $A_i = 193 \text{ m}^2$: superficie del bacino di infiltrazione;
- $h_{\text{tirante}} = 1,0 \text{ m}$;
- $S_d = 0,4 \text{ m}$;
- $p = 0.4$: strato drenante in ghiaia in entrambi i bacini;
- $K_{\text{sat}} = 10^{-3} \text{ m/s}$: area caratterizzata dalla presenza di sabbia e ghiaia pulita.

Le condizioni al contorno del fosso di infiltrazione sono le seguenti:

- Il fosso all'inizio dell'evento è vuoto;
- Velocità di infiltrazione costante;
- Il grado di saturazione iniziale del terreno non influisce sui processi di infiltrazione;
- Falda sufficientemente profonda rispetto al fondo del fosso.

Ne deriva che nel caso con permeabilità del terreno pari a $k=10^{-3}$ m/s, il tempo di svuotamento del bacino per sola infiltrazione sarebbe di circa 6 ore.

2.5 CR_09 – INT_09: VIA DEI GELSI

VERIFICA IDRAULICA SULLA CONDOTTA DI RETE MINORE DA SOSTITUIRE (INT_09_01)

VERIFICA SDF:

- $Tr = 20$ anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
5	8.02	29.41	→	0.23

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.3	0.50%	50	0.075	0,071

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.23	<	0.044	→	sezione insufficiente

VERIFICA SDP:

- **Tr = 20 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
5	8.02	29.41	→	0.23

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.8	0.50%	85	0.20	0,5026

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]	
0.23	<	1.03	→ sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
0.8	>	0.24	→ adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
5	8.02	36.51	→	0.29

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.8	0.50%	85	0.20	0,5026

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m^3/s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m^3/s]		
0.29	<	1.033	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.8	>	0.30	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

2.6 CR₁₁ – INT₁₁: VIA MARAGNOLE

VERIFICA IDRAULICA SUL FOSSO DA REALIZZARE (INT_{11_01})

VERIFICA SDP:

- Tr = 20 anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	20.65	21.09	→	0.43

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.6	1.8	0.6	0.80%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.43	<	1.04	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.37	→	franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	20.65	26.63	→	0.55

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.6	1.8	0.6	0.80%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.55	<	1.04	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.40	→	franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.

VERIFICA IDRAULICA SULLA CONDOTTA DI RETE MINORE DI ATTRAVERSAMENTO VIA MARAGNOLE (INT_11_01)

VERIFICA SDP:

- **Tr = 20 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	20.65	21.09	→	0.43

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.6	0.80%	85	0.15	0,282

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al collettore di progetto Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.43	<	0.607	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.37	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	20.65	26.63	→	0.55

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

d_{condotta} [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]	R_H [m]	A_0 [m ²]
0.6	0.80%	85	0.15	0,282

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.55	<	0.607	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]		
0.6	>	0.40	→	adeguato franco di sicurezza

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici imposti dal progetto di intervento.

VERIFICA IDRAULICA SUL FOSSO DA REALIZZARE (INT_11_02)

VERIFICA SDP:

- **Tr = 20 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	35.99	21.09	→	0.76

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	2.8	1.0	0.50%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]		
0.76	<	2.79	→	sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
1	>	0.42	→ franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
11	35.99	26.63	→	0.95

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	Ks [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	2.8	1.0	0.50%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q _{max} [m ³ /s]	
0.95	>	2.79	→ sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
1	>	0.5	→ franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.

2.7 CR_12 – INT_12: VIA ZABARELLA

VERIFICA IDRAULICA SUL FOSSO DA REALIZZARE (INT_12_02)

VERIFICA SDP:

- $Tr = 20$ anni

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
1	21.95	56.47	→	1.24

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	2.8	1.0	0.50%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]	
1.24	<	2.79	→ sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
1	>	0.51	→ franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.

- **Tr = 50 anni**

Bacino di appartenenza	Area bacino di competenza	Coefficiente udometrico del bacino u [l/s ha]		Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]
1	21.95	70.58	→	1.55

Parametri geometrici del collettore di recapito allo stato di progetto:

Base inferiore [m]	Base superiore [m]	Profondità [m]	Pendenza media	K_s [m ^{1/3} s ⁻¹]
0.8	2.8	1.0	0.50%	35

Confronto tra portata in arrivo e portata massima scolante nel collettore di recapito allo stato di progetto:

Portata in arrivo al fosso di recapito Q [m ³ /s]		Portata massima del collettore Q_{max} [m ³ /s]	
1.55	>	2.79	→ sezione sufficiente

Confronto tra profondità massima e tirante di moto uniforme:

Profondità massima del collettore [m]		Tirante di moto uniforme [m]	
1	>	0.60	→ franco di sicurezza non sufficiente

La verifica risulta soddisfatta con i parametri geometrici allo stato di progetto.