



Regione Toscana – Provincia di Siena

Comune di Trequanda

## PIANO OPERATIVO COMUNALE

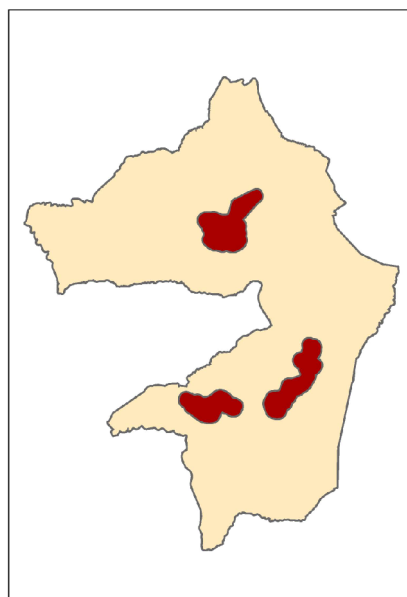
(ai sensi art. 95 della L.R. 65/2014)

### INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

Ai sensi D.P.G.R. n. 5/R del 5 febbraio 2020



### Relazione idrologica



Data

19 dicembre 2022

Professionista

Dott. Geol. Francesco Agnelli

# Indice

<b>1. Premessa</b>	<b>1</b>
<b>2. Analisi dati morfometrici e idrologici Bacino Fosso Selciaie – UTOE Petroio</b>	<b>3</b>
2.1 Analisi morfometrica del bacino idrografico di interesse e stima del coefficiente di afflusso	3
<i>Analisi morfometrica</i>	3
2.2 Stima del coefficiente di deflusso	7
2.3 Determinazione delle curve LSPP sulle stazioni di Montepulciano e Montisi	9
2.4 Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate	13
<u>2.4.1 Richiamo alla teoria della regionalizzazione delle piogge estreme</u>	13
<u>2.4.2 Calcolo delle altezze di pioggia da medie regionalizzate</u>	18
<u>CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO (METODO A)</u>	
2.5 Stima del tempo di corrivazione	19
2.6 Determinazione delle altezze di pioggia da medie regionalizzate	22
<b>3. Stima delle portate di piena per modellazione in HEC-RAS</b>	<b>25</b>
<u>Calcolo portate di piena da h delle medie regionalizzate</u>	26
<u>Calcolo portate di piena da h delle nuove curve LSPP da analisi personale</u>	27

## Allegati

### TAVOLA A - Aspetti morfometrici del bacino idrografico – UTOE Petroio

## **1. Premessa**

Il presente elaborato descrive lo studio idrologico prodotto per il bacino idrografico sotteso al Fosso Selciaie. Tale fosso attraversa per un lungo tratto l'abitato di Petroio (frazione del comune di Trequanda in provincia di Siena). In particolare risultano descritti i dati fisiografici, morfologici e idrologici utilizzati nelle diverse fasi di analisi, nonché le procedure di elaborazione applicate al fine di ottenere in ultima istanza le portate al colmo da considerare per la realizzazione delle verifiche idrauliche sulla tratta di interesse del suddetto fosso. Il fosso Selciaie era già stato individuato negli studi iniziali depositati presso il Genio Civile come asta del reticolo secondario censito ai sensi della l.r. 79/2012 e aggiornato con D.C.R. N. 81/2021 all'interno del data-base della Regione Toscana (vedi fig.1). Inoltre lo stesso fosso interseca per tutto il tratto di scorrimento all'interno dell'area di via della Pianata, le UTOE di Piano Operativo riconducibili all'abitato di Petroio.

Non risultano mantenuti, ai fini del deposito presso il Genio Civile competente, gli studi idrologici afferenti al Fosso Rigo e al relativo fosso tributario per l'abitato di Trequanda, come ampiamente delucidato nella relazione idraulica. Gli studi idraulici di Petroio risultano tesi ad analizzare unicamente l'asta del Fosso Selciaie.

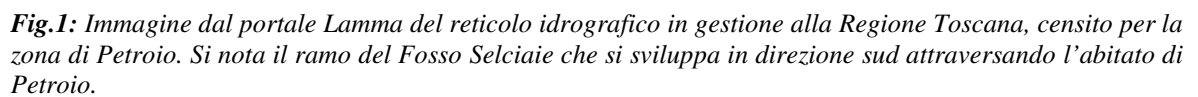
Il fosso Selciaie attraversa l'abitato di Petroio intersecando per un lungo tratto le UTOE definite all'interno del Piano Operativo comunale. Il corso d'acqua si sviluppa all'interno del territorio urbanizzato con alternanze di tratti tombati e tratti a cielo aperto (vedi fig. 2).

In particolare è individuabile una prima tratta tombata tra l'area attrezzata a verde pubblico presente all'inizio di Via della Pianata e la zona adiacente al campo sportivo. Successivamente è presente un tratto a cielo aperto, seguito da due tratte tombate separate tra di loro da un ulteriore breve porzione a cielo aperto (porzione di canale individuabile nella zona artigianale in adiacenza all'officina meccanica, tratta che insiste in destra idraulica del fosso dove il piano campagna si trova depresso fino alla quota del tetto dei tombamenti).

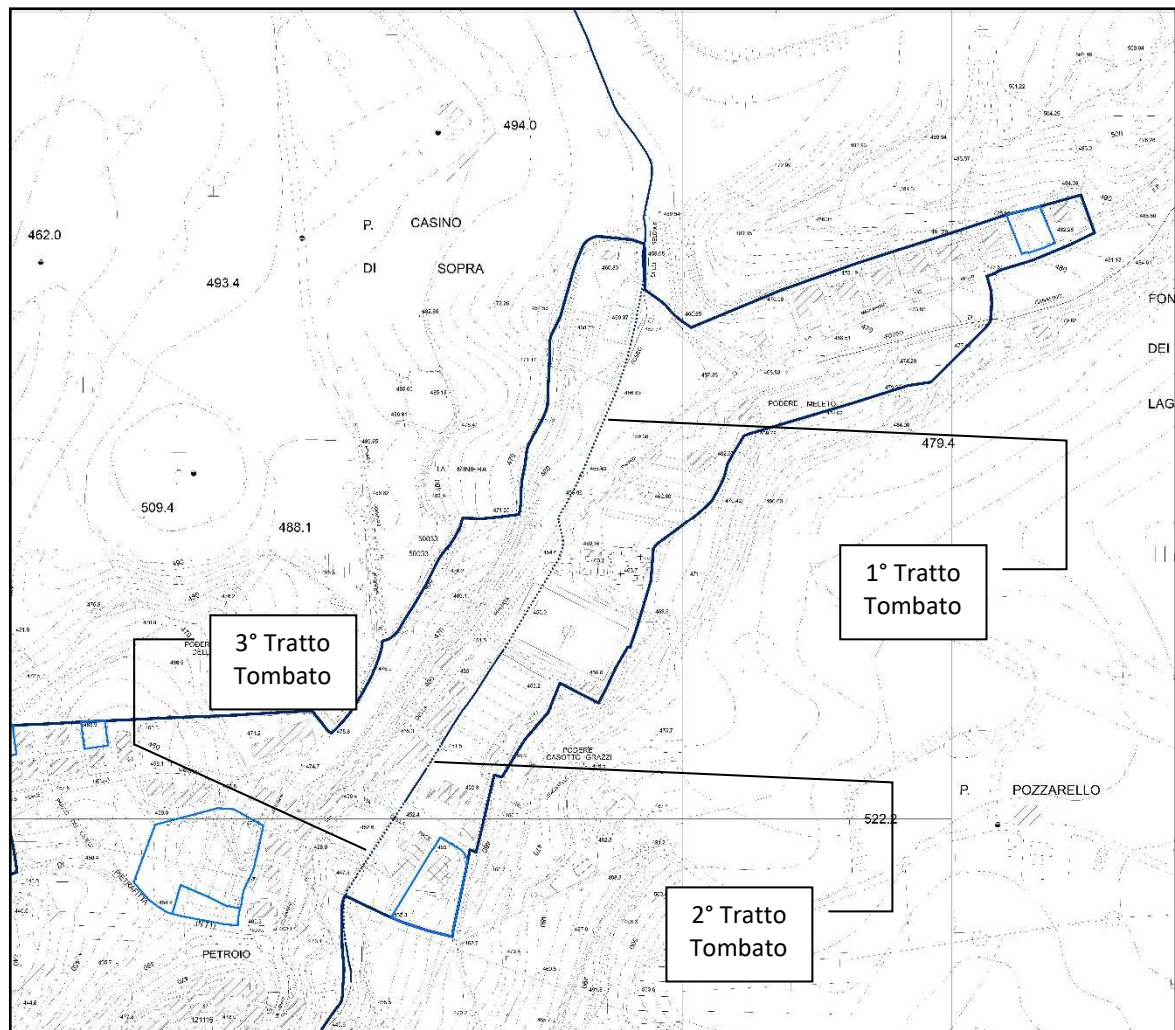
E' noto che il Selciaie provoca (come testimoniato da più eventi alluvionali pregressi) allagamento sia nell'area compresa tra il campo sportivo e l'area artigianale di sud-ovest, che più a monte lungo Via della Pianata.

Per le aree oggetto di verifica non sussistono studi idrologico-idraulici pregressi, ma solamente pericolosità idraulica tracciata su cartografia con criterio morfologico rispetto alla classificazione prevista da regolamento 53/R del 2011.

Scopo dello studio idrologico è quello di ottenere i battenti idraulici di piena finali del Fosso Selciaie da inserire all'interno del software di modellazione idraulica (HEC-RAS). La modellazione idraulica conseguente ha permesso di restituire le aree allagabili del territorio



Lo studio descritto di seguito recepisce le osservazioni pervenute dal Genio Civile a seguito del primo deposito, nonché le valutazioni effettuate nei vari confronti succedutisi, al fine di portare in approvazione il nuovo strumento urbanistico.



**Fig.2:** Tracciato del Fosso Selciaie all'interno dell'abitato di Petroio. Si notano in tratteggio le tre tratte tombate del fosso. In linea blu continua esternamente al territorio urbanizzato il limite delle UTOE come da Piano Operativo del comune di Trequanda.

Il presente studio è stato redatto ai sensi della D.P.G.R. della Regione Toscana n. 5/R del 30 gennaio 2020, nonché ai sensi della l.r. n. 41 del 24 luglio 2018.

## **2. Analisi dati morfometrici e idrologici Bacino Fosso Selciaie – UTOE Petroio**

### **2.1 Analisi morfometrica del bacino idrografico di interesse e stima del coefficiente di afflusso**

#### ***Analisi morfometrica***

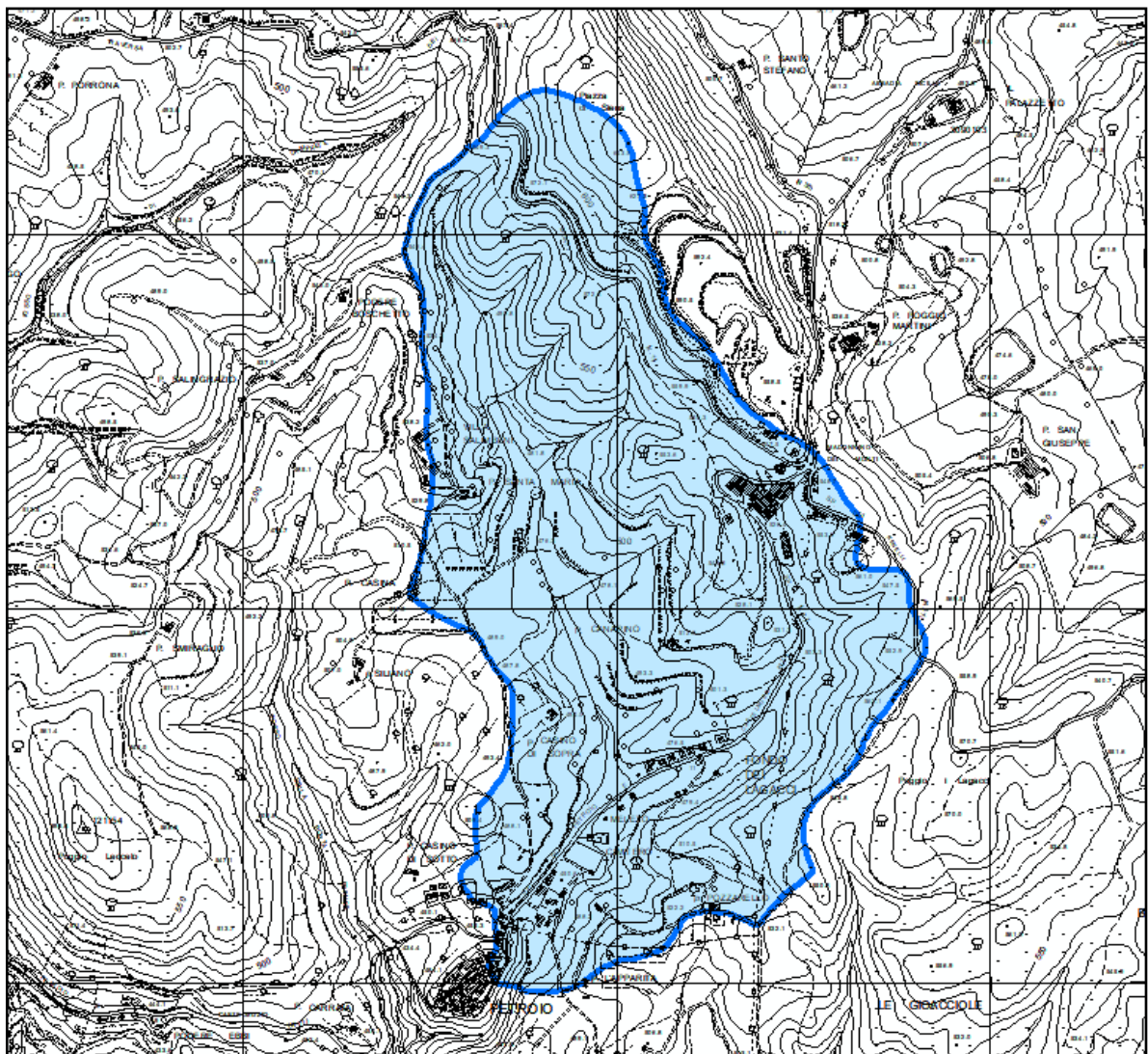
Il bacino idrografico del Fosso Selciaie ha origine dai rilievi collinari presenti a nord del sito di studio. Tali rilievi fanno parte della dorsale morfologica Rapolano-Cetona, con la quale si raggiungono quote superiori a 600 m s.l.m.m. e dove si osservano pendenze elevate nonchè



talora estreme. Ad ovest della stessa dorsale si osserva l'altra fascia collinare delimitante in destra idraulica l'asta fluviale del Selciaie, caratterizzata da quote altimetriche inferiori e pendenze medie. Il Fosso Selciaie ha origine dalle pendici della sommità del rilievo denominato Piazza di Siena, a monte della cava del Madonnino dei Monti.

All'interno del bacino idrografico del Selciaie possono essere individuati alcuni affluenti minori in generale tutti dall'area sommitale prossima alla cava suddetta o all'area artigianale prossima alla località di Madonnino dei Monti.

Il bacino del Fosso Selciaie presenta tendenzialmente una disposizione ad L con concavità rivolta verso ovest (vedi fig. 3). La sua estensione complessiva è pari a 1,982 km<sup>2</sup>.



**Fig.3:** Estensione del bacino afferente al Fosso Selciaie (Bacino 1)

Lo studio morfometrico del bacino idrografico è consistito inizialmente nell'analisi della distribuzione areale delle diverse quote osservate, al fine di definire il valore medio, sia assoluto che relativo, della altimetria bacinale rispetto alla quota di chiusura del bacino di interesse.

Il territorio compreso all'interno del limite bacinale è stato analizzato in ambiente GIS al fine di quantificare le aree comprese nei vari intervalli altimetrici osservati all'interno della CTR della Regione Toscana (vedi carta delle altimetrie in Tavola A). Per tale scopo il territorio è stato suddiviso in 21 zone comprese o tra due isoipse consecutive caratterizzate da un proprio intervallo altimetrico (intervallo ogni 10 m di altitudine), o tra un punto quotato e una isoipsa (intervallo altimetrico < 10 m). Le fasce altimetriche discriminate risultano suddivise tra le massime quote di 640-650 m s.l.m.m (zona riconducibile alla dorsale in corrispondenza della località Piazza di Siena) e l'intervallo di chiusura del bacino pari a 440-450 m s.l.m.m.. Per ciascun intervallo è stata calcolata l'area sottesa. Gli intervalli altimetrici e le aree comprese all'interno delle curve di livello (riferite a ciascun intervallo definito), sono stati inseriti all'interno del software Piena della Program Geo al fine di calcolare sia l'altezza media del bacino che l'altezza media riferita alla sezione di chiusura del bacino. La curva ipsometrica ottenuta per il sottobacino del Fosso Selciaie è mostrata in fig. 4.

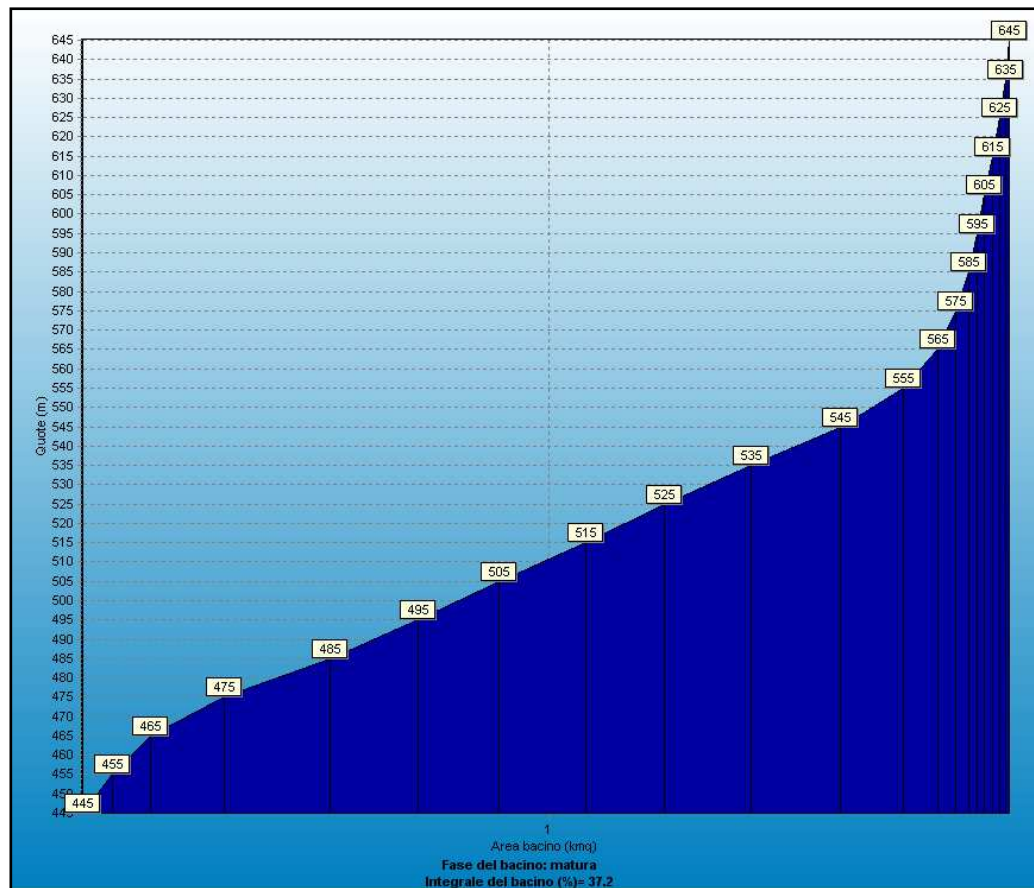
La curva ottenuta denota che il bacino si trova in una condizione di maturità morfo-evolutiva. L'analisi morfometrica del bacino idrografico ha restituito un'altezza media del bacino pari a circa 519 m s.l.m.m..

Ulteriore fattore morfometrico analizzato per il bacino di interesse è quello della acclività. In particolare (vedi carta delle acclività nella allegata Tavola A), al fine di estrapolare il valore medio di pendenza all'interno del bacino, è stata effettuata una analisi (in ambiente GIS) delle pendenze esistenti all'interno del limite fisiografico bacinale individuato. Il territorio bacinale è stato classificato considerando quattro diversi intervalli di pendenze:

- Pendenze > 35%,
- Pendenze comprese tra 10% e 35%,
- Pendenze comprese tra 3,5% e 10%,
- Pendenze 3,5 %.

La pendenza media dell'asta fluviale del Selciaie è pari a circa 5,3%. La lunghezza totale dell'asta analizzata dal punto di vista morfometrico è pari a circa 2,58 km.

Le pendenze del bacino complessivo variano per buona parte tra i valori del 10 e del 35% (circa il 65% della superficie totale del bacino complessivo). Completano il quadro globale pendenze comprese tra 0 e 3,5% con una percentuale di superficie interessata pari a circa 8%, pendenze comprese tra il 3,5 e il 10% con una percentuale di superficie interessata pari a circa 12%, mentre pendenze > 35% sono presenti con una percentuale di superficie interessata pari a circa 15%.



**Fig.4:** Curva ipsometrica del bacino di studio afferente al Fosso Selciaie.

Di seguito sono riassunti i parametri morfometrici stimati per il bacino del Fosso Rigo (Bacino 1):

Altezza media del bacino: 518 m s.l.m.

Altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura: circa 78 m

Quota max bacino: circa 643 m s.l.m.

Quota min bacino: circa 445 m s.l.m.

Pendenza media bacino (globale): circa 25,7%

Pendenza media asta fluviale principale: 5,3%

Lunghezza asta fluviale principale: 2,581 km

In aggiunta all'analisi di quote e pendenze, sono stati analizzati anche i fattori della permeabilità e dell'uso del suolo. Tali ulteriori parametri si sono resi indispensabili al fine di determinare empiricamente il coefficiente di deflusso del bacino di studio, parametro fondamentale della relazione di calcolo delle portate al colmo mediante il Metodo Razionale.

## 2.2 Stima del coefficiente di deflusso



Il coefficiente di deflusso è esprimibile come rapporto tra la porzione di acqua piovana totale che rimane all'interno del bacino (acqua che defluisce fino all'asta fluviale di chiusura considerata) e la pioggia totale caduta nel bacino considerato.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato con il metodo proposto da Kennessey quale metodo di comprovata validità scientifica e che meglio si adatta alla determinazione diretta del fattore suddetto, da inserire all'interno del metodo empirico di calcolo delle portate di piena riconducibile alla relazione del Metodo Razionale.

Il metodo di Kennessey prevede che il valore del coefficiente di deflusso (Cd) sia ottenuto dalla somma di tre componenti:

- 1) la prima è riferita all'acclività esistente (coefficiente Ca)
- 2) la seconda è riferita alla copertura vegetale presente (coefficiente Cv)
- 3) la terza è riferita alla permeabilità dei suoli (coefficiente Cp)

La parametrizzazione delle tre componenti è effettuata in funzione di tre diverse soglie dell'indice di aridità (Ia) esistente alla latitudine considerata (< 25, compreso tra 25 e 40, > 40). Nel presente caso si è fatto riferimento ad un indice di aridità medio (25-40).

Per ciascuna componente sono previste quattro classi della tipologia del fattore da rappresentare (pendenze, uso del suolo, permeabilità) sulla scorta delle quali viene assegnato un primo coefficiente parziale. I tre coefficienti parziali risultano successivamente sommati a restituire il coefficiente di deflusso finale.

Al fine di eseguire la stima delle tre componenti del coefficiente è stata considerata l'analisi in ambiente GIS eseguita per i tre aspetti da parametrizzare riconducibili all'acclività, alla vegetazione e alla permeabilità del bacino complessivo. Le risultanze sono le cartografie di dettaglio mostrate in scala 1.5.000 all'interno della Tavola A. Per le pendenze sono già state descritte precedentemente le risultanze. Si ricorda che il fattore dell'acclività del piano campagna è stato analizzato discriminando quattro intervalli (< 3,5%, 3,5 – 10%, 10 – 35%, > 35%) e che sussiste (nel bacino analizzato) una prevalenza di acclività con valori di pendenze compresi tra 10 e 35%.

Relativamente agli aspetti di uso del suolo, è stata eseguita (in ambiente GIS) una discretizzazione delle aree interessate dalla presenza delle seguenti classi:

- bosco,
- coltivazioni con filari cespuglieti, arbusteti e/o frutteti,
- pascoli e/o seminativi semplici,
- tessuto urbano e strade.

Tenendo conto della classificazione prevista dal metodo di Kennessey relativamente al fattore Vegetazione (vedi tabella seguente sulla stima delle componenti del coefficiente di deflusso in fig. 5), le classi di uso del suolo sopra richiamate sono state così associate a quelle definite dallo stesso Kennessey:

- bosco, corrispondente alla classe *bosco ad alto fusto*
- coltivazioni con filari cespuglieti, arbusteti e/o frutteti, corrispondenti alla classe *terra coltivata/boscata*
- pascoli e/o seminativi semplici, corrispondenti alla classe *pascolo*
- tessuto urbano e strade, corrispondenti alla classe *assente*.

Infine relativamente agli aspetti di permeabilità dei terreni presenti all'interno del bacino idrografico, è stata effettuata, sempre in ambiente GIS, una distinzione delle aree interessate da diverso grado di permeabilità riconducibile alle formazioni geologiche (comprese le coltri detritiche) affioranti all'interno dello stesso bacino. La zonazione del grado di permeabilità è stata effettuata tenendo conto delle classi indicate da Kennessey per la stima del coefficiente di afflusso (vedi fig. 15). Nella allegata Tavola A è mostrata la carta delle permeabilità del bacino redatta in scala 1:10.000. Le classi di permeabilità considerate sono:

- bassa per porosità primaria, non è riconducibile a nessun litotipo in quanto non sono state associate unità geologiche a questa classe;
- medio-bassa, riconducibile alla presenza di depositi sabbiosi talora sub-cementati riconducibili all'unità delle sabbie plioceniche (PLIs) e a depositi organogeni calcarei (FAAi) dell'unità delle argille azzurre;
- medio-elevata, legata a terreni di riporto, coltri detritiche di versante (prevalenti) legate a processi gravitativi all'interno delle unità sabbiose, nonché ad unità litoidi affioranti lungo la dorsale (RET);
- elevata, legata all'affioramento di unità litoidi calcaree (calcare massiccio, unità MAS) e depositi di versante (aa), nonché depositi eluvio-colluviali (b2a) e calcari detritici del Villafranchiano (VILd).

Di seguito, in fig. 15, si riporta la tabella matriciale del metodo di Kennessey rappresentativa sia dei parametri che contribuiscono alla formazione del coefficiente di deflusso, che i coefficienti di base previsti dal metodo per ciascuna classe associata ad ognuno dei tre parametri contemplati, nonché le aree parziali sottese alla mappatura di ciascuna classe di ogni parametro analizzato e la percentuale che ogni parziale di superficie rappresenta rispetto alla estensione totale del bacino analizzato.

Parametri	Classe	Coefficiente	Area (km2)	% superficie rispetto al totale del bacino
Acclività (Ca)	> 35%	0.2600	0.3013	0.15
	35 - 10%	0.1600	1.2767	0.64
	10 - 3.5%	0.0300	0.2418	0.12
	< 3.5%	0.0100	0.1618	0.08
Vegetazione (Cv)	assente	0.2800	0.1636	0.08
	pascolo	0.2100	0.6892	0.35
	terra coltivata, boscata	0.1100	0.0966	0.05
	bosco d'alto fusto	0.0400	1.0322	0.52
Permeabilità (Cp)	scarsa	0.2600	0.0000	0.00
	mediocre	0.1600	1.2179	0.58
	buona	0.0800	0.4668	0.22
	elevata	0.0400	0.4307	0.20

**Fig. 5:** Tabella rappresentativa dei coefficienti parziali ottenuti per la stima del coefficiente di afflusso nel bacino del Fosso Selciaie a Petroio

Dalla osservazione della tabella sopra esposta, si nota quanto già anticipato relativamente alla percentuale di importanza delle diverse classi di pendenze analizzate.

Per quanto concerne l'uso del suolo (vegetazione), invece, si osserva che il 52% del territorio bacinale è interessato da presenza di coperture boschive (boschi a latifoglie), il 35% è caratterizzato dalla presenza di coltivazioni di seminativi semplici non irrigui e pascoli, l'8% è interessato dalla presenza di copertura impermeabile per tessuto urbano o infrastrutture stradali, il restante 5% è occupato da coltivazioni a frutteti e talora con piante di alto fusto o arbusti.

Infine, per quanto concerne l'aspetto della permeabilità, il 58% della superficie del bacino presenta una permeabilità mediocre, mentre il 22% è caratterizzato dalla presenza di materiali con permeabilità elevata, il 20% del territorio è interessato da terreni con buona permeabilità. Le superfici interessate da permeabilità scarsa risultano irrilevanti e in caso sarebbero rappresentate dalla strada provinciale S.P. 71 nel tratto compreso tra le colline della località Madonnino dei Monti e l'abitato di Petroio.

Le componenti del coefficiente di deflusso determinate per ciascuno dei fattori descritti nella tabella di fig. 15 sono:

Cd permeabilità	0.1179
Cd acclività	0.1471
Cd vegetazione	0.1224

Il valore del coefficiente di deflusso finale ottenuto per il bacino afferente al Fosso Selciaie, risulta pari a **0,387**. Tale valore risulta sostanzialmente conforme a valori di Cd estrapolati a

livello accademico per studi di ricerca eseguiti con tale metodo su bacini collinari individuati nell'areale della bassa Toscana.

### **2.3 Determinazione delle curve LSPP sulle stazioni di Montepulciano e Montisi**

Al fine di ottenere delle altezze di pioggia estrapolate ex-novo rispetto a quelle messe a disposizione dalla Regione Toscana con le analisi delle medie regionalizzate, sono stati acquisiti i dati relativi alle piogge di massima intensità con durata pari ad 1h, 3h, 6h, 12h e 24h relativamente ad una serie temporale compresa tra il 1927 e il 2017, sommando i dati di pioggia (prevalenti) della stazione pluviometrica di Montepulciano e quella di Montisi (quest'ultima ha contribuito solo per le annualità comprese tra 2002 e 2017. Considerando la presenza di alcune lacune nella serie, soprattutto nell'intervallo 1927-1956, si osserva che per l'analisi dei dati riferiti alle due stazioni suddette sono state utilizzate le piogge di massima intensità riferibili a 69 annualità.

All'interno del software Piena della Program Geo sono stati inseriti i dati pluviometrici delle piogge di massima intensità estratte dal database regionale (fonte SIR). Le serie pluviometriche considerate sono riferite come detto ai dati osservati in due stazioni meteorologiche presenti nelle vicinanze dell'area di studio:

- stazione meteorologica denominata "Montepulciano" (comune di Montepulciano – SI; COD. TOS10000690), per la quale sono stati considerati i valori di pioggia nell'intervallo temporale 1928 – 2002;
- stazione meteorologica denominata "Montisi" (comune Montalcino – SI; COD. TOS10002885), dalla quale sono stati estrapolati i dati pluviometrici riferiti all'intervallo 2002 – 2017.

I dati di pioggia registrati nella stazione di Montisi sono risultati di fatto integrativi di quelli registrati nella stazione Montepulciano. Infatti per Montisi sussistono dati solamente nell'intervallo temporale 2002-2017 (vedi fig. 6).

Considerando il numero elevato di annualità utilizzate per la ricostruzione delle serie pluviometriche, si ritiene che le portate di piena ottenute e descritte di seguito siano ampiamente validabili dal punto di vista della rappresentatività delle serie numeriche utilizzate. Le curve di possibilità pluviometrica ottenute per i tempi di ritorno 20, 30, 100, 200, 500 anni sono mostrate in fig. 7.





<b>Montepulciano [TOS10000690] - Montepulciano (SI)</b> 															
<b>GB [m]</b> E 1727113 N 4777034 WGS84 [°] LAT 43.112 LON 11.791															
<b>Quota slm [m]</b> 440.00															
<b>Bacino</b> Arno															
	5'	10'	15'	20'	30'	1h	3h	6h	12h	24h					
1927					15.0	22.3					2001	5.6	9.8	17.6	17.6
1928						22.0	49.0	71.0	110.2	124.5	2002	15.4	16.8	17.4	20.2
1929		10.2			22.0	25.5	32.6	36.8	37.2	38.6	2003	18.4	21.8	22.6	24.0
1930		28.8				53.8	81.5	82.0	82.4	84.4	2004	11.5	17.8	28.0	30.9
1931		8.7				33.5	34.8	36.2	36.4	38.6	2005			17.7	
1956				16.0		28.8	32.8	33.0	35.8	70.2	2007			18.1	
1957				12.0		13.6	16.0	24.6	35.0	39.8	2008	18.8	21.2	21.2	21.2
1958				26.2		26.4	40.8	66.6	66.6	70.2					
1959				10.2		11.6	19.0	28.0	35.0	43.0	<b>Montisi [TOS03002888] - Montalcino (SI)</b> 				
1960			20.0			21.6	26.0	31.0	35.4	54.4	<b>GB [m]</b> E 1715469 N 4781422 WGS84 [°] LAT 43.155 LON 11.650				
1961					12.0	14.0	29.0	48.0	53.8	53.8	<b>Quota slm [m]</b> 400.00				
1962		12.8				18.0	22.0	33.2	38.4	44.0	<b>Bacino</b> Ombrone				
1963			22.0			27.4	27.6	28.0	32.8	37.6					
1964		19.4				29.0	46.0	54.6	63.8	88.2		5'	10'	15'	20'
1965				20.0		30.0	42.0	43.2	64.0	72.8	2002				
1966		15.0				25.0	44.6	46.8	46.8	55.2	2003				
1967		7.4				11.4	19.0	21.0	31.6	36.6	2004				
1968		14.0				17.0	20.2	22.0	26.4	37.2	2005				
1969		9.6				11.6	27.0	42.4	43.2	43.4	2006				
1970		13.0				23.2	24.0	44.8	49.6	49.6	2007				
1971		12.0				14.2	20.0	23.4	39.0	43.4	2008				
1972			13.0			26.0	52.0	58.2	58.6	58.6	2009				
1973				23.2		28.2	31.2	31.2	40.0	56.4	2010				
1974				12.8		15.6	27.4	29.4	29.4	33.4	2011				
1975			12.4			14.0	17.4	24.8	31.6	34.9	2012				
1976			12.2			16.0	20.6	31.4	38.6	49.2	2013				
1977			12.6			20.2	43.2	43.4	43.4	43.4	2014				
1978			8.2			18.8	21.4	23.4	28.0	35.4	2016				
1979			13.8			22.4	42.6	44.8	49.0	50.8	2017				
1980			11.8			16.4	25.6	33.4	41.4	47.4					
1981			13.8			21.0	21.6	21.6	26.2	33.8					
1982			17.2			22.0	41.4	48.0	49.2	65.0					
1983		5.8				14.0	15.4	21.0	36.4	37.0					
1984			10.2			20.0	37.4	41.0	41.0	51.8					
1985				10.0		12.0	15.0	18.2	22.8	23.8					
1986	11.4	14.4	17.0	19.8	33.0	53.0	62.6	62.6	62.6	62.6					
1987	11.4	13.4	16.0	19.2	23.6	45.0	78.4	78.4	80.2	80.2					
1988	7.5	9.6	10.3	11.0	14.8	24.2	25.2	33.9	44.4	44.8					
1989	7.1	13.0	18.0	24.3	31.7	37.6	42.8	54.0	61.6	70.4					
1990		11.6		20.6	29.0	37.6	37.8	37.8	43.4	56.6					
1991		6.6		9.4	10.4	13.6	22.4	29.2	36.8	53.2					
1992		16.4		23.1	29.3	36.8	39.9	42.3	43.2	48.0					
1993		18.4		24.8	30.0	44.0	48.2	48.2	48.2	48.2					
1994		3.0		6.0	8.8	14.6	32.4	48.0	62.6	63.6					
1995		8.2		11.8	13.4	18.2	40.6	43.2	43.2	43.2					
1996		11.6		14.0	16.4	22.8	28.6	35.0	43.6	65.8					

Fig. 6: Piogge di massima intensità per diversi intervalli di durata

Il procedimento di determinazione dei parametri  $a$  ed  $n$  (mediante software dedicato) da correlare con l'altezza di pioggia riconducibile a ciascun tempo di ritorno considerato per la stima delle portate di piena, fa riferimento alla relazione di calcolo della stessa altezza di pioggia. In particolare dalla letteratura è noto che l'altezza di pioggia riferita ad un certo intervallo di durata è espressa dalla relazione:

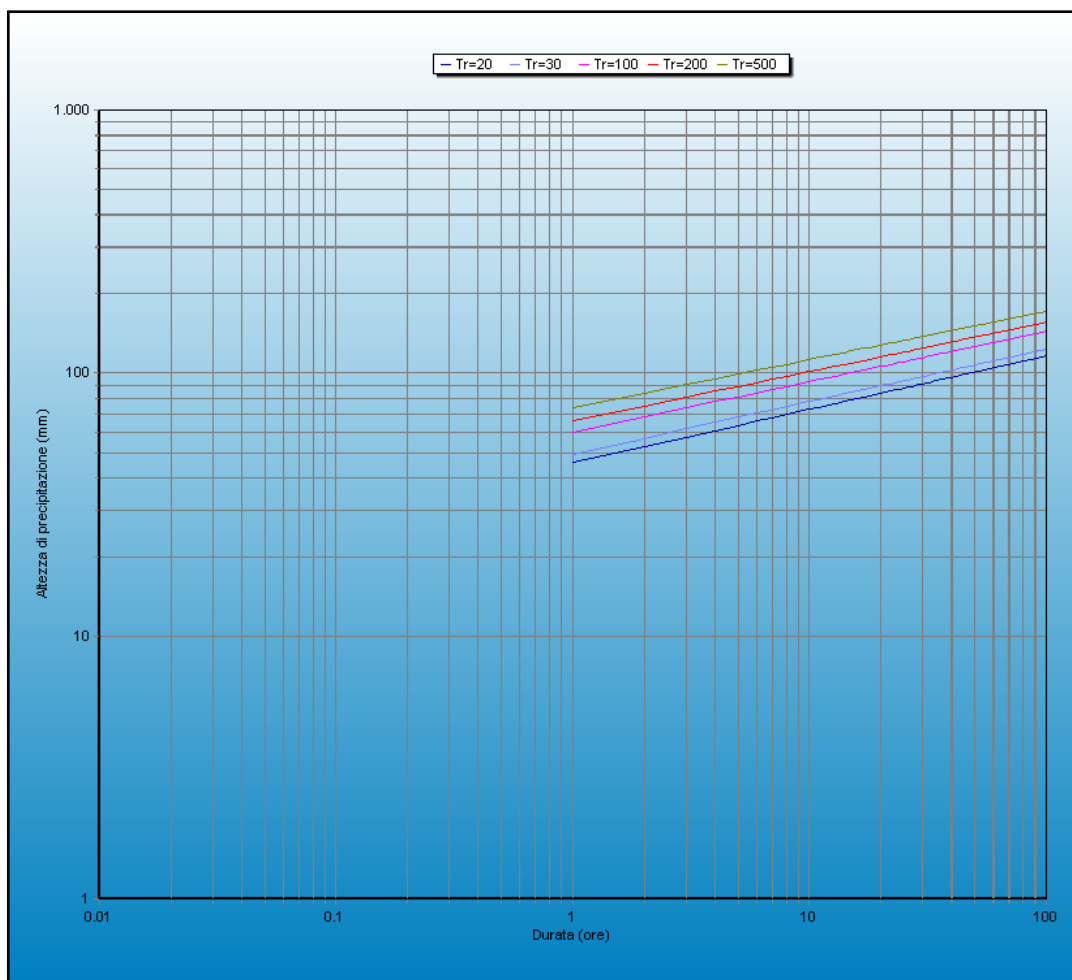
$$h \text{ (mm)} = a \cdot t^n$$

dove:

$h \text{ (mm)}$  = altezza di pioggia riferita al tempo di durata  $t$

$a$  = variabile funzione del tempo di ritorno

$n$  = costante correlata al tempo  $t$



**Fig. 7:** Curve di possibilità pluviometrica ottenute dai dati di pioggia delle stazioni “Montepulciano” e “Montisi”

Delle diverse altezze di pioggia ottenuta da propria analisi sono state utilizzate quelle

riconducibili ai tempi di ritorno trentennale ( $Tr = 30$  anni), duecentennale ( $Tr = 200$  anni) e cinquecentennale ( $Tr = 500$  anni).

Con le curve di possibilità pluviometrica riprodotte all'interno del software, è stato possibile estrapolare i parametri  $a$  e  $n$  necessari per la stima delle portate al colmo.

Di seguito in tabella 1 sono mostrati i valori dei coefficienti  $a$  ed  $n$  ottenuti per i diversi tempi di ritorno considerati per la generazione delle curve di possibilità pluviometrica:

<b>Tr (anni)</b>	<b>Fattore a</b>	<b>Fattore n</b>
20	45,61	0,20
30	49,18	0,20
100	59,69	0,19
200	65,71	0,19
500	73,64	0,18

*Tabella 1: fattori  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica*

## **2.4 Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate**

In aggiunta all'analisi dei dati morfometrici e idrologici delle stazioni di Montisi e Montepulciano, sono stati acquisiti i valori dei parametri idrologici  $a$  e  $n$  riferiti alle curve di possibilità pluviometrica (LSPP) prodotte a livello regionale come medie regionalizzate e messe a disposizione sottoforma di dati in formato ASCII.

L'analisi dei dati determinati da regionalizzazione delle piogge si è resa necessaria a seguito di confronto con il Genio Civile con il quale è emersa la necessità di eseguire un confronto tra le altezze di pioggia riconducibili alle curve LSPP ricavate dalle stazioni di Montepulciano e Montisi, con i valori di  $h$  ottenibili dalle celle dei valori di  $a$  e  $n$  messi a disposizione dal Servizio Idrologico Regionale (SIR).

### 2.4.1 Richiamo alla teoria della regionalizzazione delle piogge estreme

La regionalizzazione delle piogge estreme è stata condotta su un'area di studio che comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica, il bacino attiguo del fiume Magra e alcuni sottobacini idrografici dei fiumi Tevere e Fiora. Una volta validato il set dei dati è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima. Per quanto riguarda la pioggia massima giornaliera le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 622, con mediamente 38.6 anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono 351, con mediamente 55.6 anni di dati. Per quanto riguarda la pioggia di durata 1-24 ore le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 404 con mediamente 30.5 anni di dati. Le stazioni con

almeno 30 anni sono 152 con mediamente 52.9 anni di dati. Per la pioggia con durata inferiore all'ora, facendo riferimento alle piogge a 15 minuti, le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 281 con mediamente 16.5 anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono solamente 5 con mediamente 31.2 anni di dati.

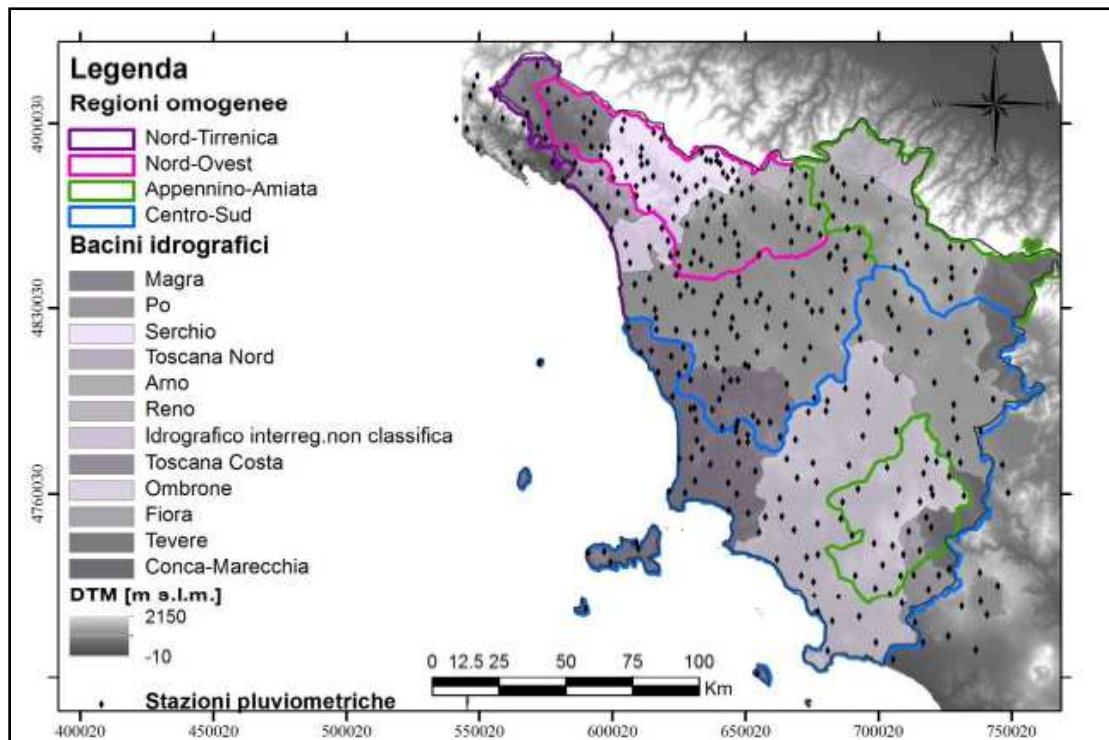
Il problema della stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontato con metodologie diverse, tra cui la più robusta e più utilizzata a livello scientifico e tecnico è l'analisi di frequenza regionale. Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile per le diverse stazioni pluviometriche presenti sul territorio di una regione riducendo così l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura. In questo studio per la stima della variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV *Two-Component Extreme Value* secondo un approccio gerarchico a tre livelli.

Tra le varie ipotesi di suddivisione in regioni omogenee del territorio di studio è stata scelta, dopo opportune verifiche, quella in 4 regioni: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 sub-regioni (vedi fig. 8). Per ogni regione è stata determinata una curva di crescita per le precipitazioni giornaliere e, quando questa non sia risultata indicativa dell'andamento della distribuzione di frequenza cumulata sperimentale delle piogge a livello orario, si è proceduto ad una stima diretta della curva di crescita per ciascun valore di durata. Dal confronto tra le curve di crescita teoriche del modello TCEV dedotte su base oraria e i dati sperimentali delle altezze di pioggia di durata 30' con più di 30 anni di dati, è emersa la possibilità di rappresentare i valori sub-orari con la distribuzione TCEV valida per 1h. Per la determinazione della pioggia indice per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia è stato utilizzato un modello multivariato, funzione di caratteristiche climatiche e geo-morfologiche.

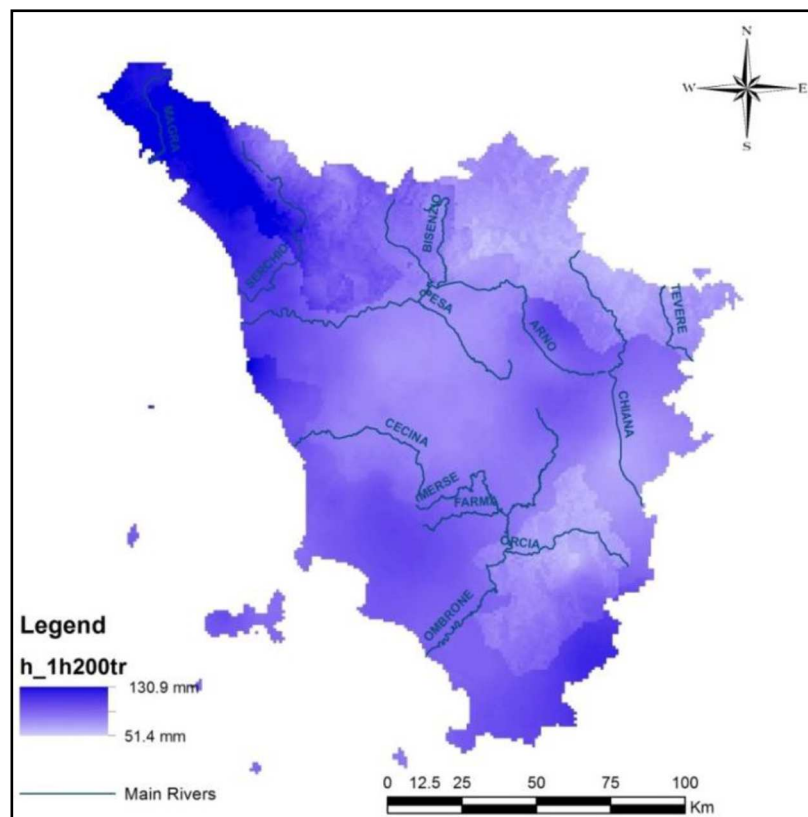
Facendo riferimento ai risultati messi a disposizione dal Servizio Idrologico Regionale, Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

La stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate e i fattore di crescita adimensionale  $KT$  per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni rappresentate in Figura 9 e 10.

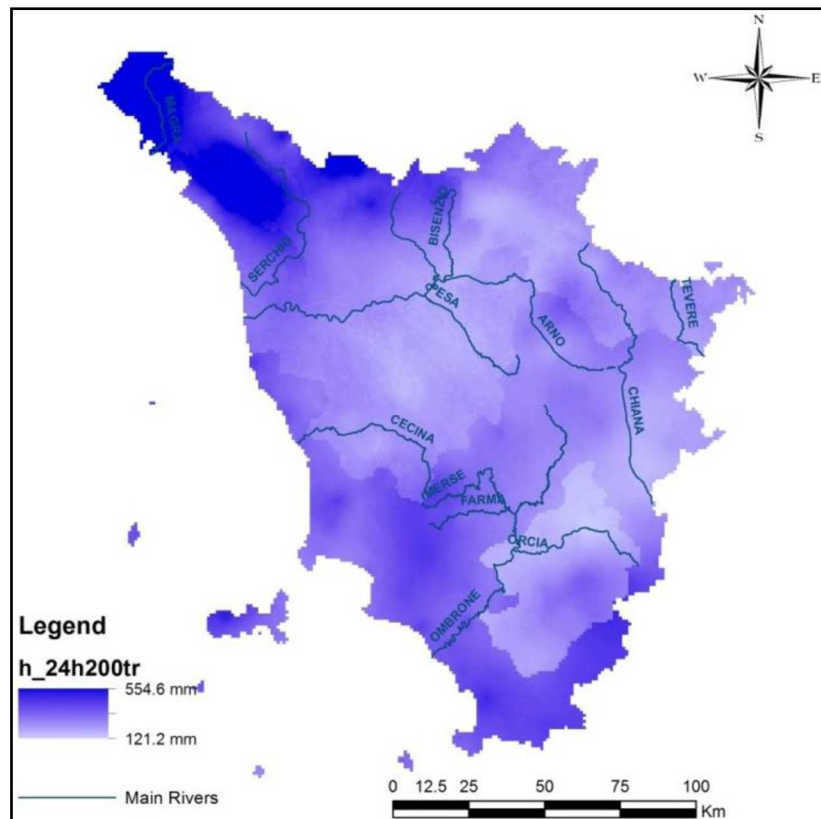




**Fig. 8:** Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee (estratto da linee d'uso). In figura sono rappresentate le regioni statisticamente omogenee e le 351 stazioni pluviometriche con più di 30 anni di dati, utilizzate nel presente studio. In secondo piano è presente la divisione in bacini idrografici e il modello digitale del terreno (DTM).



**Fig. 9:** Spazializzazione sull'intera regione dell'altezza di pioggia di durata 1 ora, per il tempo di ritorno 200 anni.



**Fig. 10:** Spazializzazione sull'intera regione dell'altezza di pioggia di durata 24 ore per il tempo di ritorno 200 anni.

Per le durate caratteristiche, tra i risultati sono presenti le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno. In Figura 10, a titolo di esempio, sono riportate le altezze di pioggia per il tempo di ritorno 200 anni e durate 1 ora e 24 ore.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n \quad (3)$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];

$t$  = durata [ore],

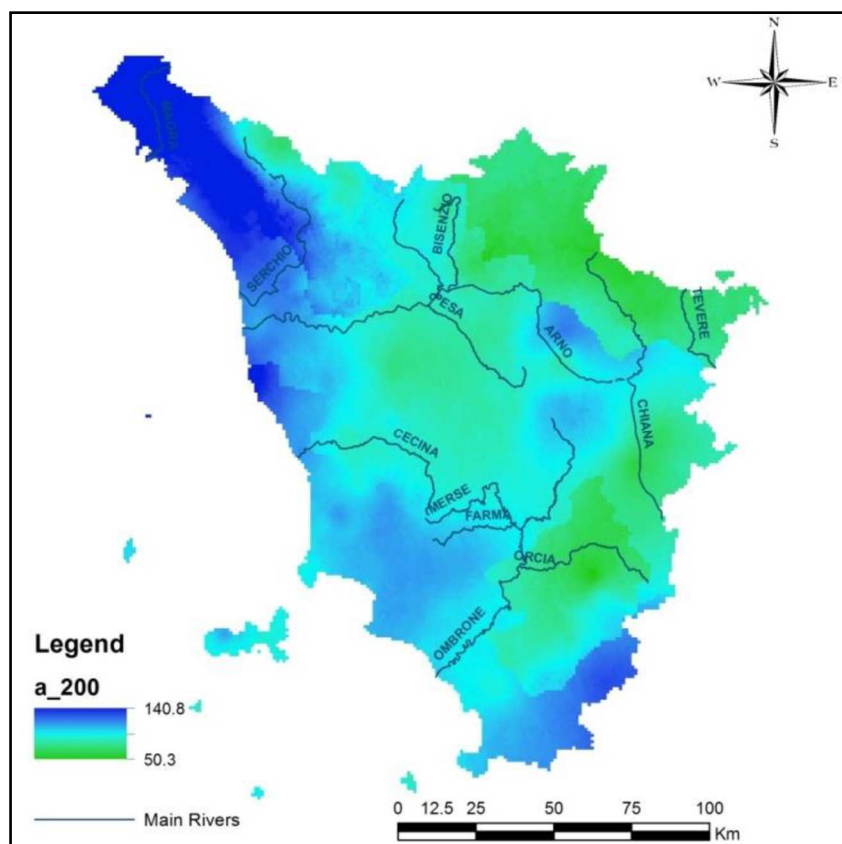
$a$  e  $n$  parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri  $a$  e  $n$ . Tra i risultati sono

quindi disponibili, oltre ad un documento di testo per definire i contenuti a partire dal nome, le cartelle delle coppie di ASCII Grid di  $a$  e di  $n$  delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni).

Si riportano, a titolo di esempio in figura n. 11 e 12 le griglie dei parametri  $a$  e  $n$  per il tempo di ritorno di 200 anni.

Una volta noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in ogni punto della Regione Toscana, secondo una semplice procedura descritta nel seguito.



**Fig. 11:** Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

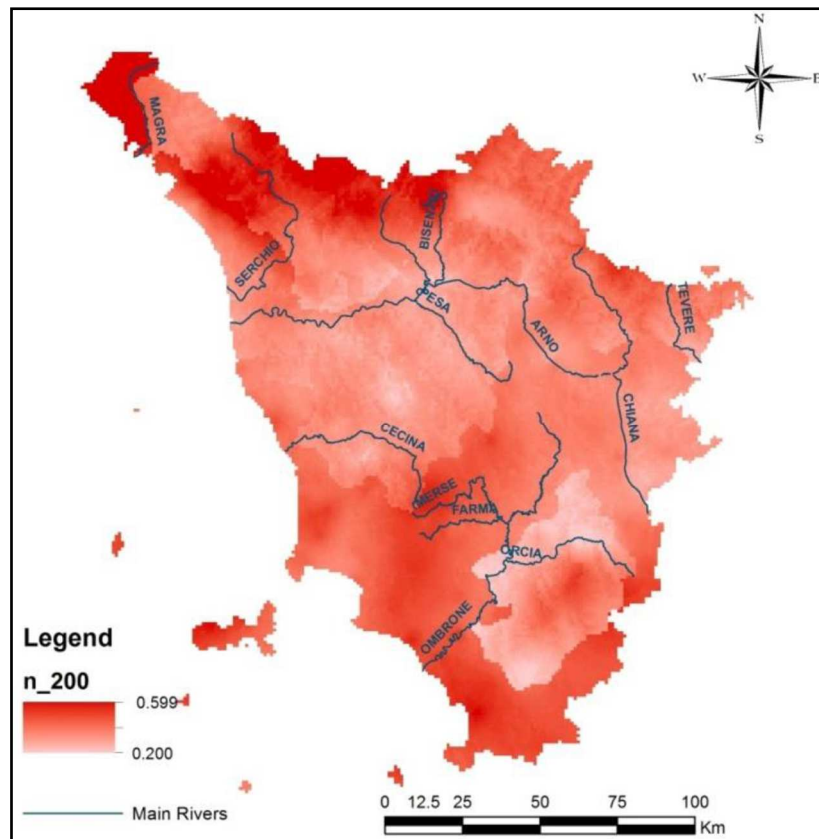


Fig. 12: Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "n" della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

#### 2.4.2 Calcolo delle altezze di pioggia da medie regionalizzate

Sono stati visualizzati in ambiente GIS i files in formato ASCII relativi alle elaborazioni dei parametri  $a$  ed  $n$  (curve di possibilità pluviometrica regionalizzate), sovrapponendo ad essi il limite del bacino di interesse del Fosso Selciaie. Tutte le celle individuate per entrambi i parametri, riferite a ciascun tempo di ritorno considerato per la stima delle portate al colmo (Tr pari a 30, 200, 500 anni), sono state estratte e ritagliate lungo il limite bacinale. Inoltre, al fine di eseguire una media pesata delle altezze di pioggia riferite a ciascuna cella compresa all'interno del limite bacinale, e' stata calcolata l'area della porzione di ciascuna cella sottesa al bacino di studio.

Le medie pesate delle altezze di pioggia  $h$  sono state calcolate con la formula precedentemente richiamata da letteratura e riconducibile alle curve di possibilità pluviometrica ( $h = a \cdot t^n$ ). Il tempo critico considerato è il tempo di corrivazione individuato in ultima istanza per la determinazione delle portate di piena finali. Tale scelta è da ricondurre alla procedura riportata nelle linee guida di utilizzo delle medie regionalizzate della Regione Toscana, per le quali la stessa Regione consiglia di ricavare le altezze di pioggia medie sul bacino di interesse, calcolando la media degli  $h$  calcolati su ogni cella rispetto ad un  $t_c$  corrispondente al tempo di



corrivazione determinato per lo stesso bacino analizzato.

A memoria di quanto riportato nelle linee guida regionali all'uso delle medie regionalizzati, si riporta di seguito quanto citato ai fini della corretta applicazione della procedura proposta:

### **CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO (METODO A)**

*Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile utilizzare due metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.*

*A. Utilizzo dei parametri  $a$  e  $n$  della LSPP - Noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per assegnato  $T_r$ , viene definita la durata  $t$  dell'evento. Per un bacino idrografico si usa  $t=t_{cr}$  (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:*

$$h(t) = a t_c^n \quad (4)$$

*con:*

*$h$  = altezza di pioggia [mm];*

*$t_c$  = tempo di corrivazione [ore],*

*$a$  e  $n$  parametri caratteristici.*

*La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione (4) può essere effettuata tramite software GIS con un tool tipo **Raster Calculator**. Una volta trovata l'altezza di pioggia  $h$  in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico (v. punti AB1-AB2).*

**Indicazioni della Regione-Toscana sulla procedura di calcolo da seguire:**

***La Regione Toscana, al fine di garantire univocità dei risultati, indica come metodo da seguire per il calcolo delle altezze di pioggia quello indicato al punto A utilizzando cioè la formula  $h = a t^n$***

## **2.5 Stima del tempo di corrivazione**

Il tempo necessario affinché una goccia d'acqua, caduta con la pioggia nelle zone di estremità del bacino, impiega per raggiungere la sezione di chiusura del bacino considerato (quota di deflusso che riemerge all'interno del bacino stesso) viene configurato come tempo di

corrivazione della piena.

La stima del tempo di corrivazione è stata condotta applicando più metodi di comprovata validità scientifica e la cui applicazione risulta ampiamente validata dal loro utilizzo per analisi idrologiche di bacini idrografici. In particolare, tenendo conto delle ridotte dimensioni del bacino afferente al Fosso Selciaie (circa 2 km<sup>2</sup>), si è cercato di utilizzare metodi tarati per bacini medio-piccoli (estensione areale variabile da < 1 km<sup>2</sup> a qualche decina di km<sup>2</sup>).

I metodi contemplati e confrontati tra di loro per la individuazione del tempo di corrivazione finale sono:

1) Formula di Pezzoli:

$$\tau_c(h) = \frac{0,055L_p}{\sqrt{0,01P_m}}$$

Dove:

L<sub>p</sub> = Lunghezza dell'asta principale (km)

P<sub>m</sub> = Pendenza media del bacino

2) Formula di Ventura:

$$\tau_c(h) = 0,1272 \left( \frac{S_b}{0,01S_a} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dove:

S<sub>a</sub> = Inclinazione media del corso d'acqua principale

S<sub>b</sub> = Superficie del bacino (km<sup>2</sup>)

3) Formula di Kirpich:

$$\tau_c(h) = 0,003245 \left( \frac{1000L_p \sqrt{1000L_p}}{\sqrt{h_{\max}}} \right)^{0,77}$$

Dove:

$L_p$  = Lunghezza dell'asta principale (km)

$H_{max}$  = Altezza massima del bacino

4) Formula di Pasini (modificata):

$$\tau_c(h) = \frac{0,0864\sqrt[3]{S_b L_p}}{\sqrt{0,01S_a}}$$

Dove:

$S_a$  = Inclinazione media del corso d'acqua principale

$L_p$  = Lunghezza dell'asta principale (km)

5) Formula di Puglisi:

$$\tau_c(h) = 6 * L * (H_{max} - H_{min})^{(-1/3)}$$

Dove:

$L$  = Lunghezza asta corso d'acqua (km)

$H_{max}$  = Altezza massima bacino

$H_{min}$  = Altezza minima bacino

6) Formula di Fattorelli-Marchi:

$$\tau_c(h) = 5,13 * (L/i_k)^{1/3}$$

Dove:

$L$  = Lunghezza asta corso d'acqua

$i_k$  = pendenza media dell'asta principale del corso d'acqua

Si è proceduto, inoltre, a considerare anche la formula di Giandotti modificata per bacini più piccoli (con estensione < 10 km<sup>2</sup>), ma il valore ottenuto non è stato considerato attendibile, tenendo conto che è risultato più elevato di quello sopra descritto ed ottenuto con la formula

classica per bacini di medio-grandi dimensioni.

I valori del tempo di corrivazione ottenuti con i metodi sopra descritti nella seguente tabella (tabella 2):

<b>Metodo applicato</b>	<b><math>t_c</math> (h)</b>
PEZZOLI	0.6166
VENTURA	0.7779
KIRPICH	0.3681
PASINI (MODI)	0.6467
PUGLISI	1.2126
FATTORELLI-MARCHI	0.3094

*Tabella 2: fattori  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica*

Nello studio inizialmente prodotto non era stata considerata una media dei tempi di corrivazione ma erano stati utilizzati i due valori ottenuti rispettivamente con la formula classica di Giandotti e quella di Kirpich, mediando poi in ultima istanza le portate ottenute dai singoli tempi di corrivazione.

Osservando con il Genio Civile la necessità di applicare metodi maggiormente conservativi per le condizioni morfologiche del bacino analizzato, nonché nell'ottica di utilizzare comunque un valore di  $t_c$  che non risultasse troppo basso e che riproducesse comunque condizioni prossime a quelle già testimoniate su eventi di piena manifestatisi in passato lungo il Selciaie in corrispondenza di Petroio, si è ritenuto favorevole impiegare per i successivi calcoli di determinazione delle portate di piena il valore del tempo di corrivazione determinato con la formula di Pezzoli, per cui  $t_c = 0,6166$  h.

## **2.6 Determinazione delle altezze di pioggia da medie regionalizzate**

Seguendo la procedura indicata nelle linee d'uso delle LSPP regionalizzate (documento sull'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme), si è proceduto al calcolo dei singoli valori delle altezze di pioggia (h) per ciascuna cella del file raster messo a disposizione dalla Regione Toscana (struttura SIR).

Nelle tabelle mostrate di seguito sono mostrati i valori di  $a$  ed  $n$  estrapolati in ciascuna cella del file GRID per i vari tempi di ritorno inizialmente contemplati. I valori dei due coefficienti sono stati estrapolati inizialmente (per comparazione con i dati ottenuti da personale elaborazione di LSPP) per i tempi di ritorno  $T_r$  20, 30, 100, 200, 500 anni (vedi tabelle seguenti). Successivamente sono stati utilizzati solamente i parametri riconducibili ai battenti contemplati dalla normativa regionale in materia di indagini geologiche propedeutiche agli strumenti

urbanistici (Tr 30, 200, 500 anni).

Fattore a - Tr 20 anni		
Celle	Val_fatt_a	Area
1	43.300999	0.922524021
2	42.701	0.217933347
3	43.910999	0.435335144
4	43.951	0.034783078
5	43.654999	0.135219683
6	42.994999	0.215432288
7	43.375	0.020426568

Fattore n - Tr 20 anni		
Celle	Val_fatt_n	Area
1	0.21665	0.922524
2	0.22901	0.217933
3	0.21183	0.435335
4	0.2091	0.034783
5	0.21474	0.13522
6	0.21955	0.215432
7	0.19864	0.020427

Fattore a - Tr 30 anni		
Celle	Val_fatt_a	Area
1	46.171001	0.922524021
2	45.530998	0.217933347
3	46.820999	0.435335144
4	46.862999	0.034783078
5	46.549	0.135219683
6	45.844002	0.215432288
7	47.084	0.020426568

Fattore n - Tr 30 anni		
Celle	Val_fatt_n	Area
1	0.22051	0.922524
2	0.23287	0.217933
3	0.21568	0.435335
4	0.21296	0.034783
5	0.2186	0.13522
6	0.22341	0.215432
7	0.21662	0.020427

Fattore a - Tr 100 anni		
Celle	Val_fatt_a	Area
1	53.937	0.922524021
2	53.189999	0.217933347
3	54.695999	0.435335144
4	54.747002	0.034783078
5	54.379002	0.135219683
6	53.556	0.215432288
7	58.582001	0.020426568

Fattore n - Tr 100 anni		
Celle	Val_fatt_n	Area
1	0.23901	0.922524
2	0.25137	0.217933
3	0.23418	0.435335
4	0.23145	0.034783
5	0.23708	0.13522
6	0.2419	0.215432
7	0.26249	0.020427

Fattore a - Tr 200 anni		
Celle	Val_fatt_a	Area
1	58.039001	0.922524021
2	57.234001	0.217933347
3	58.855999	0.435335144

Fattore n - Tr 200 anni		
Celle	Val_fatt_n	Area
1	0.25204	0.922524
2	0.26441	0.217933
3	0.24721	0.435335

4	58.909	0.034783078
5	58.514	0.135219683
6	53.556	0.215432288
7	57.627998	0.020426568

4	0.24449	0.034783
5	0.25013	0.13522
6	0.25495	0.215432
7	0.28009	0.020427

Fattore a - Tr 500 anni		
Celle	Val_fatt_a	Area
1	63.511002	0.922524021
2	62.631001	0.217933347
3	64.404999	0.435335144
4	64.463997	0.034783078
5	64.030998	0.135219683
6	63.062	0.215432288
7	75.250999	0.020426568

Fattore n - Tr 500 anni		
Celle	Val_fatt_n	Area
1	0.26804	0.922524
2	0.28042	0.217933
3	0.26322	0.435335
4	0.2605	0.034783
5	0.26612	0.13522
6	0.27095	0.215432
7	0.29397	0.020427

Di seguito sono mostrate le singole altezze di pioggia (h) determinate per ciascuna cella sottesa al bacino, nonché il valore medio ottenuto ( $h_m$ , da media pesata) per ciascun tempo di ritorno utile ai fini delle verifiche idrauliche.

h da Tc Pezzoli - Tr 30 (media h dentro bacino)					
a	n	tc	h	Area	$h_m$
46.171	0.22051	0.6166	41.5014	0.922524	41.5718
45.531	0.23287	0.6166	40.6823	0.217933	
46.821	0.21568	0.6166	42.1841	0.435335	
46.863	0.21296	0.6166	42.2775	0.034783	
46.549	0.2186	0.6166	41.8799	0.13522	
45.844	0.22341	0.6166	41.1497	0.215432	
47.084	0.21662	0.6166	42.4018	0.020427	

h da Tc Pezzoli - Tr 200 (media h dentro bacino)					
a	n	tc	h	Area	$h_m$
58.039	0.25204	0.6166	51.3798	0.922524	51.05315
57.234	0.26441	0.6166	50.3650	0.217933	
58.856	0.24721	0.6166	52.2249	0.435335	
58.909	0.24449	0.6166	52.3407	0.034783	
58.514	0.25013	0.6166	51.8482	0.13522	



53.556	0.25495	0.6166	47.3445	0.215432
57.628	0.28009	0.6166	50.3287	0.020427

h da Tc Pezzoli - Tr 500 (media h dentro bacino)					
a	n	tc	h	Area	hm
63.511	0.26804	0.6166	55.7907	0.922524	55.97059
62.631	0.28042	0.6166	54.6893	0.217933	
64.405	0.26322	0.6166	56.7080	0.435335	
64.464	0.2605	0.6166	56.8346	0.034783	
64.031	0.26612	0.6166	56.2997	0.13522	
63.062	0.27095	0.6166	55.3183	0.215432	
75.251	0.29397	0.6166	65.2799	0.020427	

### 3. Stima delle portate di piena per modellazione idraulica in HEC-RAS

Al fine di restituire le portate di progetto da utilizzare per la modellazione delle piene trentennale, duecentennale e cinquecentennale del Fosso Selciaie (da realizzare per una sola asta fluviale caratterizzata ovunque da morfologia valliva con alveo incassato rispetto al piano campagna, assenza di sistemi arginali con eventuale piede esterno a quote inferiori al ciglio di sponda), nella prospettiva di realizzare una modellazione in monodimensionale con moto permanente all'interno del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center della U.S. Army Corps of Engineers), si è ritenuto sufficiente calcolare le portate di progetto mediante l'applicazione della formula empirica del Metodo Razionale ampiamente conosciuto in letteratura, nonché a supporto di svariate esperienze di modellazione dei corsi d'acqua. Lo stesso metodo è stato applicato utilizzando la sua formula nella versione modificata come proposta all'interno del software utilizzato per il presente studio idrologico (Piena della Programgeo) in affiancamento a quella classica. In particolare la relazione modificata del Metodo Razionale, adottata per il calcolo delle portate di piena, è la seguente:

$$Q_{\max} (mc / s) = 0.278 \frac{k_f c_a h A}{\tau_c}$$

Dove:

$Q_{\max} (m^3/s)$  = portata di massima piena al colmo per un dato tempo

di ritorno;

$c_a$  = coefficiente di deflusso , variabile da 0 a 1

$A$  ( $\text{km}^2$ ) = area del bacino;

$h$  (mm) = altezza di precipitazione ragguagliata riferita a  $\tau_c$  per un

dato tempo di ritorno;

$k_f$  = fattore di frequenza funzione del tempo di ritorno.

$\tau_c$  (h) = tempo di corrivazione.

Il fattore  $k_f$  è un fattore di sicurezza che come suggerito a livello accademico e come richiamato dal software utilizzato, costituisce di fatto un coefficiente di sicurezza nei confronti delle portate normalmente stimate dalla formula classica del Metodo Razionale, Lo stesso coefficiente dipende fortemente dal tempo di ritorno e di fatto amplifica i valori di portata ottenuti con la formula classica, secondo i seguenti fattori moltiplicativi:

- per Tr 30 anni,  $k_f = 1.38$
- per Tr 200 anni,  $k_f = 1.50$
- per Tr 500 anni,  $k_f = 1.52$

Applicando la relazione sopra esposta sono state calcolate le portate di piena rispetto al  $t_c$  di Pezzoli precedentemente individuato, sia considerando le altezze di pioggia di progetto ottenute dalle medie regionalizzate, che da propria analisi idrologica sui dati di pioggia delle stazioni di Montepulciano e Montisi (analisi condotta a partire da una analisi morfologica, di uso del suolo e idrogeologica del territorio sotteso al limite bacinale del Selciaie), già esplicitata all'inizio della relazione (generazione di nuove curve LSPP sulle stazioni meteorologiche suddette).

Le portate di piena ottenute per i tre tempi di ritorno contemplati da normativa regionale (necessari per l'individuazione delle classi di pericolosità da alluvioni), nonché i relativi volumi totali di piena riferibili ad un ipotetico idrogramma triangolare (con forma di triangolo isoscele, riconducibile alla teoria del metodo Razionale) sono descritte di seguito:

#### **Calcolo portate di piena da $h$ delle medie regionalizzate**

h da Tc Pezzoli - Tr 30		
$t_c$ (h)	$h_m$ (mm)	A ( $\text{km}^2$ )
0.6166	41.5718	1.981654

Portata Tr30 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
19.836

Volume Totale di Piena ( $\text{m}^3$ )
44'031,55

h da Tc Pezzoli - Tr 200		
t <sub>c</sub> (h)	h <sub>m</sub> (mm)	A (km <sup>2</sup> )
0.6166	51.05315	1.981654

Portata Tr200 (m <sup>3</sup> /s)
26.479

Volume Totale di Piena (m <sup>3</sup> )
58'775,98

h da Tc Pezzoli - Tr 500		
t <sub>c</sub> (h)	h <sub>m</sub> (mm)	A (km <sup>2</sup> )
0.6166	55.97058	1.981654

Portata Tr500 (m <sup>3</sup> /s)
29.416

Volume Totale di Piena (m <sup>3</sup> )
65'296,45

### Calcolo portate di piena da h delle nuove curve LSPP da analisi personale

h da Tc Pezzoli - Tr 30				
a	n	t <sub>c</sub> (h)	h (mm)	A (km <sup>2</sup> )
49.18	0.2	0.6166	44.64669	1.981654

Portata Tr30 (m <sup>3</sup> /s)
21.303

Volume Totale di Piena (m <sup>3</sup> )
47'288,38

h da Tc Pezzoli - Tr 200				
a	n	t <sub>c</sub> (h)	h (mm)	A (km <sup>2</sup> )
65.71	0.19	0.6166	59.94213	1.981654

Portata Tr200 (m <sup>3</sup> /s)
31.089

Volume Totale di Piena (m <sup>3</sup> )
69'009,60

h da Tc Pezzoli - Tr 500				
a	n	t <sub>c</sub> (h)	h (mm)	A (km <sup>2</sup> )
73.64	0.18	0.6166	67.50165	1.981654

Portata Tr500 (m <sup>3</sup> /s)
35.476

Volume Totale di Piena (m <sup>3</sup> )
78'748,83

Dal confronto delle due diverse terne di valori si è potuto osservare, di concerto con il Genio Civile, che le portate derivabili dalle altezze di pioggia determinate con il nuovo studio idrologico sulle stazioni vicine di Montepulciano e Montisi, risultano più cautelative rispetto a quelle ottenibili a partire dai valori medie degli h<sub>m</sub> calcolati per ciascun tempo di ritorno all'interno del bacino analizzato.

Perciò come condiviso con lo stesso Genio Civile, a fronte della maggiore cautelatività delle portate ottenute dalle curve LSPP calcolate ex-novo, nonché a fronte delle evidenze per cui è atteso nel tempo un aumento di frequenza degli eventi meteorologici estremi, si è ritenuto che le portate da utilizzare per la modellazione idraulica fossero da ricondurre a quelle di entità più elevata, di seguito riproposte:

<b>Portate finali da utilizzare per la modellazione idraulica – T. Selciaie di Petroio</b>			
<b>Tempo di ritorno</b>	<b><math>t_c</math> (h)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Tr 30 anni</b>	0.6166	44.64669	21.303
<b>Tr 200 anni</b>	0.6166	59.94213	31.089
<b>Tr 500 anni</b>	0.6166	67.50165	35.476

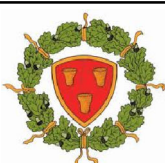
Tali portate, perciò, sono quelle da implementare all'interno del modello idraulico di HEC-RAS al fine di ottenere i battenti idraulici riferiti ai tempi di ritorno trentennale, duecentennale e cinquecentennale.

lì, 19 dicembre 2022

Dott. Geol. Francesco Agnelli

# **ALLEGATI**





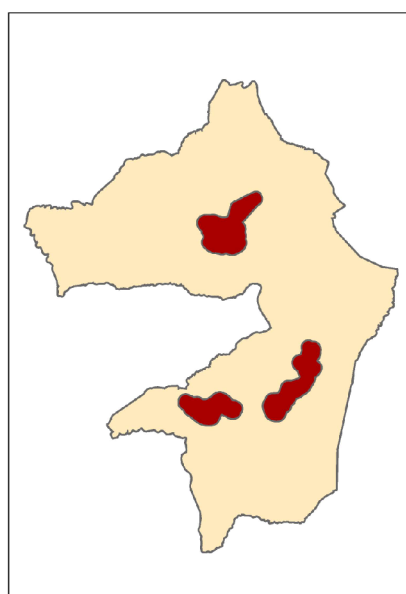
Regione Toscana – Provincia di Siena  
Comune di Trequanda

PIANO OPERATIVO COMUNALE  
(ai sensi art. 95 della L.R. 65/2014)  
INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

Ai sensi D.P.G.R. n. 53/R del 25 ottobre 2011

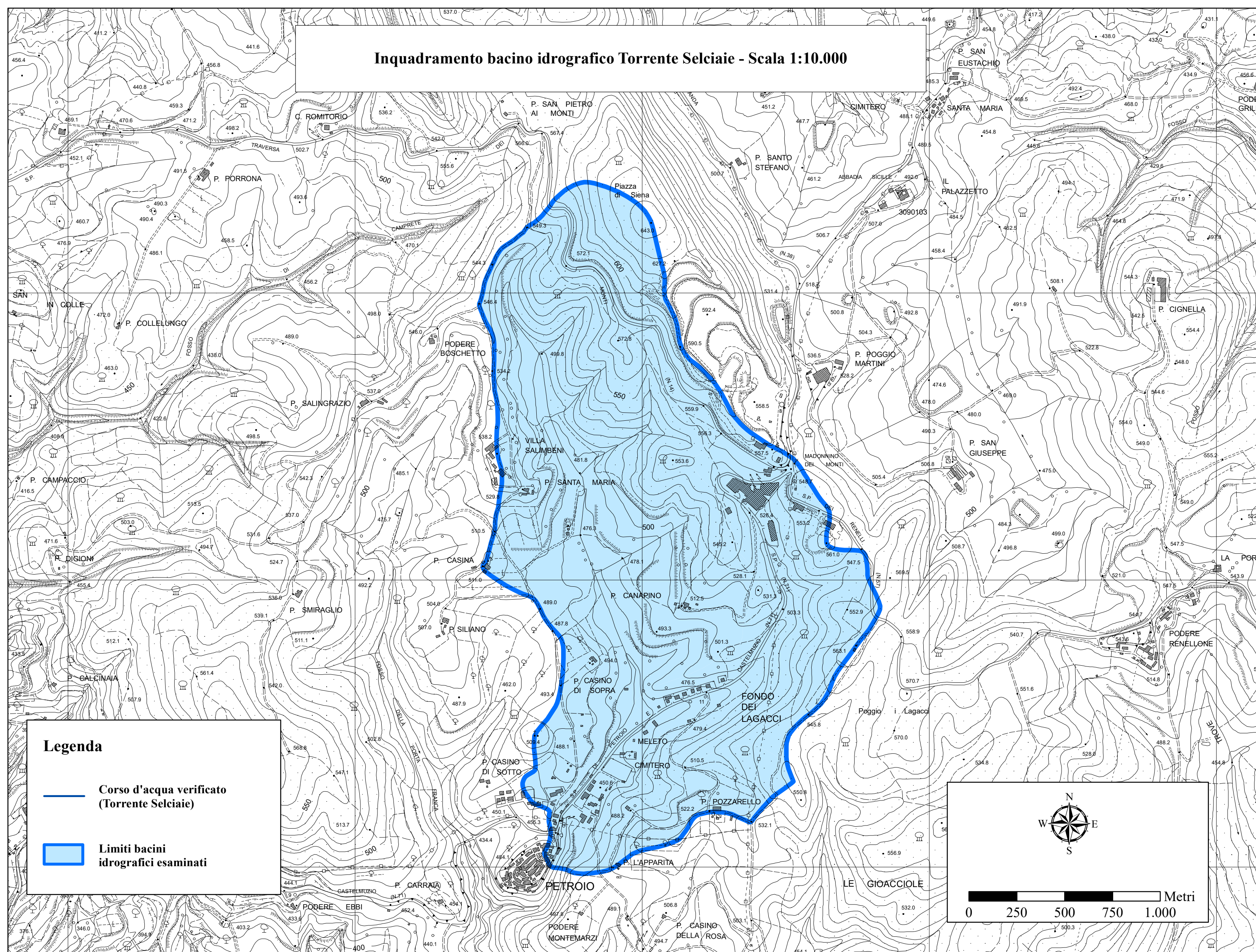


Tav. A  
Aspetti morfometrici  
del bacino idrografico  
UTOE Petroio



Data  
18 dicembre 2022

Professionista  
Dott. Geol. Francesco Agnelli

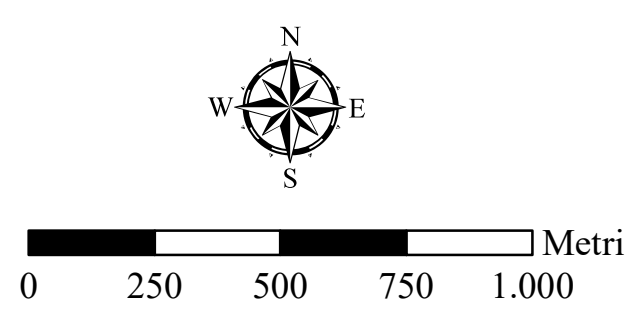


Carta della acclività  
Scala 1:5.000

**Legenda**

Classi pendenze

- 1 < 3,5%
- 2 3,5-10%
- 3 10-35%
- 4 > 35%

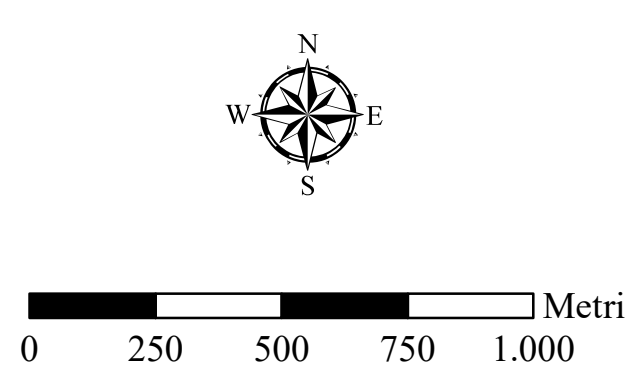


Carta delle altimetrie  
Scala 1:5.000

**Legenda**

Intervalli altimetrici  
m s.l.m.

- 330-340
- 340-350
- 350-360
- 360-370
- 370-380
- 380-390
- 390-400
- 400-410
- 410-420
- 420-430
- 430-440
- 440-450
- 450-460
- 460-470
- 470-480
- 480-490
- 490-500
- 500-510
- 510-520
- 520-530
- 530-540
- 540-550
- 550-560
- 560-570
- 570-580
- 580-590
- 590-600
- 600-610
- 610-620
- 620-630
- 630-640
- 640-650
- 650-660
- 660-670
- 670-680
- 680-690

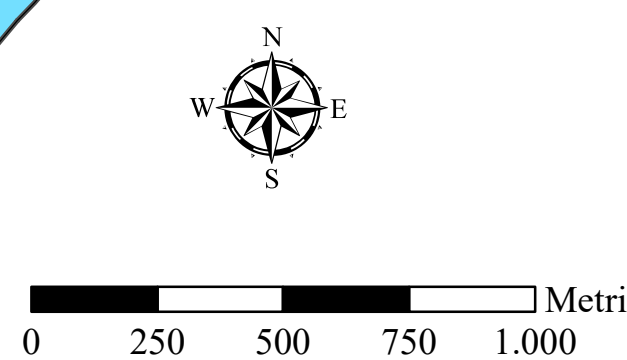


Carta della permeabilità  
Scala 1:5.000

**Legenda**

Classi di permeabilità

- bassa
- elevata
- medio-bassa
- medio-elevata per porosità primaria



Carta dell'uso del suolo  
Scala 1:5.000

**Legenda**

Classi uso del suolo

- Bosco
- Coltivazioni con filari/cespuglietti
- Pascolo/seminativo
- Tessuto urbano/strade

