

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
ADEGUAMENTO A 4 CORSIE
NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")
DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9**

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.:

Dott. Ing.
Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Arch. N.Kamenicky
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Geol. G.Cerquiglini
Geom. S.Scopetta
Dott.Ing. L.Sbrenna
Dott.Ing. E.Sellari
Dott.Ing. L.Dinelli
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. F.Pambianco
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. G.Cordua
Dott. Ing. V.De Gori
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Geom. C.Vischini
Dott. Ing. V.Piunno
Dott. Ing. G.Pulli
Geom. C.Sugaroni



PROTOCOLLO

DATA

IDROLOGIA ED IDRAULICA

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

L O F I 1 5 E 1 9 0 1

NOME FILE

T00-ID00-IDR-RE01

CODICE ELAB.

T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1

REVISIONE

SCALA:

A

-

A

Emissione

28/02/2020

L.Nani

E.Bartolucci

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

INDICE

1	PREMESSA.....	2
1.1	Riferimenti normativi	2
2	DESCRIZIONE DEI BACINI INDIVIDUATI.....	3
3	AREE DI ESONDAZIONE PGRA	3
4	ANALISI IDROLOGICA.....	3
4.1	Analisi Pluviometrica	4
4.1.1	Metodo Regionalizzazione Toscana	5
4.1.2	Stazione pluviometrica di Monticiano.....	7
4.2	Stima delle piogge di forte intensità e breve durata.....	8
5	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	11
5.1	Il metodo Razionale.....	13
5.2	Il metodo del Curve Number per l’individuazione del coefficiente di deflusso	15
6	STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEI CORSI D’ACQUA PRINCIPALI	18
6.1	Metodologia utilizzata	20
6.1.1	Curve di possibilità climatica	21
6.1.2	Metodo del Curve Number per la determinazione del coefficiente di deflusso	22
6.1.3	Determinazione del valore della portata.....	22
7	PORTATE DI PIENA PER I TOMBINI	23
8	PORTATE DI PIENA DEL FIUME MERSE	26
8.1	La serie storica dei dati idrometrici	28
8.2	Analisi della serie storica delle portate al colmo con il metodo di Gumbel.....	35
8.3	Applicazione del modello di Nash e determinazione dell’idrogramma di piena.....	39
8.4	Lo studio di “Regionalizzazione delle portate di Piena in Toscana”	42
9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	47
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	48

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio idrologico relativo all'intervento Itinerario Internazionale E78 S.G.C. Grosseto – Fano, adeguamento a 4 corsie nel tratto Grosseto – Siena (SS 223 “di Paganico”) dal km 41+600 al km 53+400 – IX Lotto.

Lo studio idrologico comprende analisi dei dati pluviometrici e idrometrici disponibili e ricostruzione delle portate di piena;

I risultati dei dimensionamenti effettuati, descritti nella presente relazione di calcolo, sono completati:

- dagli allegati della relazione;
- dalla carta di individuazione dei bacini (scala 1:10.000).

1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti per il presente progetto sono dati dalle seguenti riferimenti normative e/o strumenti di pianificazione:

- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Toscana (PAI)
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.
- Legge Regionale 79/2012
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge Regione Toscana n. 65/2014
- D.P.CR. Toscana 53/R del 25 ottobre 2011
- Legge Regione toscana n. 41/2018
- Legge Regione Toscana n.80/2015

2 DESCRIZIONE DEI BACINI INDIVIDUATI

Per poter conoscere l'entità delle portate che le opere di attraversamento idraulico dovranno smaltire, si è studiato il bacino idrologico che contribuisce alla formazione delle stesse.

Ad ogni manufatto idraulico è stato appunto associato un bacino idrografico avente sezione di chiusura proprio sull'opera stessa.

Per lo studio idraulico dei bacini, in primo luogo, si sono determinate le grandezze fisiche quali: Area, altezza massima e minima del bacino, lunghezza del tronco e pendenza di questo.

La perimetrazione dei bacini idrografici è stata realizzata mediante l'utilizzo del modello Q-Gis che ha permesso l'estrazione degli stessi in funzione delle mappe cartografiche disponibili che, nel caso in esame sono state le seguenti:

- DTM 1.0x1.0m;
- DTM 10.0x10.0m;
- CTR 10.000;
- LiDar.

Per poter calcolare le portate, oltre alle caratteristiche fisiche dei bacini, si è proceduto nel calcolo del tempo di corrivazione, questo è definito come il tempo che impiega l'ultima goccia d'acqua caduto nel punto idraulicamente più lontano ad arrivare alla sezione di chiusura, il punto idraulicamente più lontano non è quello che presenta una distanza maggiore, bensì il tragitto più lento che una goccia d'acqua percorre per arrivare, appunto, alla sezione di chiusura del bacino stesso.

3 AREE DI ESONDAZIONE PGRA

Per individuare i tratti di strada interessati dalla pericolosità idraulica si è sovrapposta l'infrastruttura viaria alle carte di rischio idraulico del PGRA, le aree di esondazione mappate dal P.G.R.A. sono riportate negli elaborati succitati mentre lo studio di compatibilità idraulica dell'infrastruttura è riportato negli elaborati T00-ID00-IDR-PP42-43.

4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica dei bacini in questione è stata condotta con riferimento ai documenti prodotti dalle autorità competenti sul territorio toscano:

- *Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Toscana (PAI)*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)*

I valori delle portate di piena sono stati stimati mediante l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica applicando il metodo di regionalizzazione della Regione Toscana, ricavati dalle mappe di regionalizzazione scaricabili dal sito della Regione Toscana al sito <https://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni> per precipitazioni di durata superiore all'ora e successivamente l'applicazione dei modelli idrologici afflussi-deflussi. Oltre al metodo di regionalizzazione si sono elaborati statisticamente i valori di pioggia registrati dal pluviometro di Monticiano reperiti sul sito <https://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

4.1 Analisi Pluviometrica

Per la stima delle portate di piena defluenti nei corsi d'acqua sono stati utilizzati modelli di trasformazione afflussi-deflussi che a partire dalle curve di possibilità pluviometrica forniscono il corrispondente andamento nel tempo delle portate.

L'applicazione di tali modelli necessita quindi della conoscenza del regime delle precipitazioni di forte intensità nel territorio di interesse, sintetizzato nelle cosiddette Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) che legano l'altezza h , la durata t della pioggia e il tempo di ritorno T tramite l'espressione:

$$h = at^n$$

essendo h = altezza di pioggia espressa in mm,

- t = durata di pioggia espressa in ore,
- a, n = parametri della curva di possibilità pluviometrica.

Per il calcolo del regime pluviometrico sono state considerati sia i parametri a ed n delle LSPP stimati utilizzando i valori riportati nelle mappe di regionalizzazione forniti dalla Regione Toscana. Tali valori sono stati individuati analizzando l'intera area oggetto di studio scegliendo ogni coppia a ed n ricadenti nei bacini studiati, sia i dati pluviometrici della stazione di Monticiano.

4.1.1 Metodo Regionalizzazione Toscana

Di seguito si riporta la metodologia per il calcolo delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica sviluppata dalla Regione Toscana:

“La determinazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica è stata effettuata mediante l’analisi dei dati pluviometrici registrati nelle stazioni di misura (pluviometri) distribuite sull’intero territorio regionale. Mediamente la lunghezza delle serie storiche considerate varia tra 30 e 50 anni; i dati raccolti in ciascuna stazioni arrivano fino all’anno 1997. Successivamente tali serie storiche sono state integrate con i dati aggiornati al 2002.

La procedura adottata nell’analisi dei dati pluviometrici ai fini dell’aggiornamento delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) può essere sintetizzata nelle seguenti fasi di lavoro:

- *Raccolta dei dati di precipitazione massima per ciascuna stazione della rete di monitoraggio (con serie storica almeno trentennale)*
- *Applicazione del metodo TCEV – Two Components Extreme Value per il calcolo delle LSPP*

L’applicazione della procedura TCEV è stata effettuata per durate superiori all’ora e nei casi più significativi per durate inferiori all’ora, ovvero in presenza di serie storiche con un numero rilevante di dati. Sulla base di questo criterio sono state anche escluse le serie storiche troppo esigue di alcune stazioni. In particolare, come riferimento si è assunto un numero minimo di dati pari a 30 anni.”

Per poter individuare la legge di pioggia da associare ai bacini (vedi elaborati T00-ID00-IDR-CO01-A, T00-ID00-IDR-CO02-A) si sono stimate le altezze di pioggia in funzione dei parametri a ed n ricadenti all’interno del singolo bacino, ogni bacino in funzione della sua estensione ha all’interno del suo perimetro una o più coppie di parametri a ed n , per poter stimare al meglio le altezze di pioggia si sono calcolate, per ogni coppia a ed n all’interno del bacino, le singole altezze di pioggia e successivamente si è calcolata l’altezza di pioggia del bacino mediando tutte quelle calcolate in funzione delle coppia di parametri a ed n presenti nel bacino stesso. Questo procedimento ha portato nelle fasi successive alla stima delle portate di progetto.

Si mostra di seguito i parametri a ed n lungo l’intero Lotto 9:

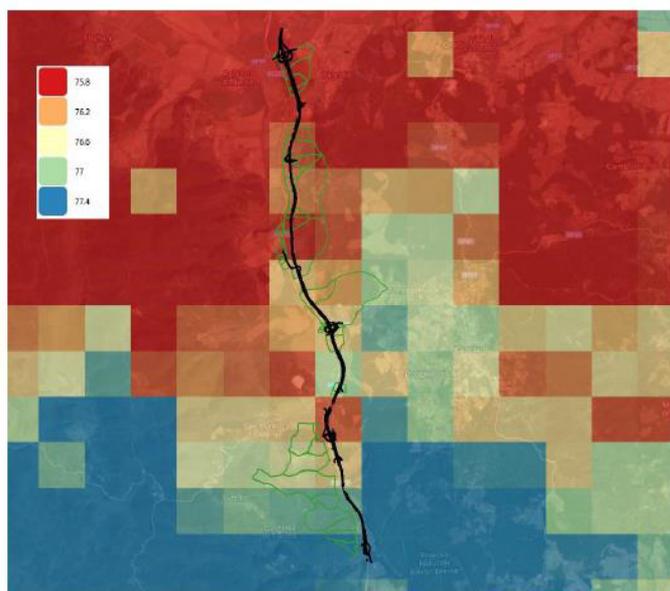


Figura 1 - Parametri a

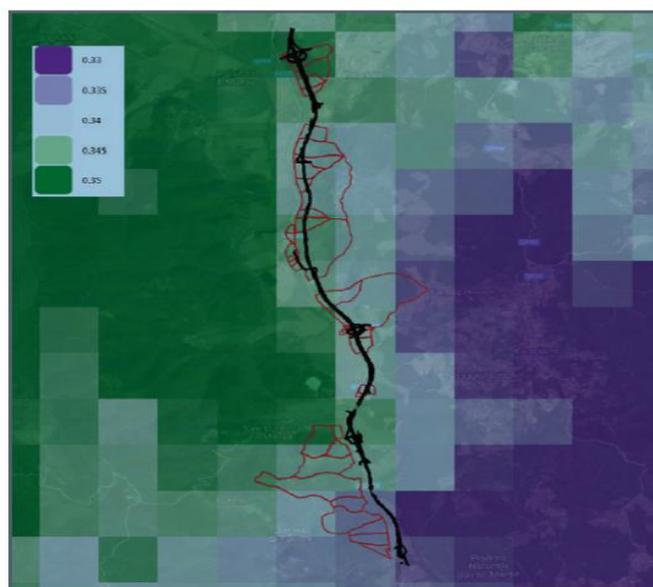


Figura 2 - Parametri n

Per i risultati si rimanda al paragrafo 6.1.1

4.1.2 Stazione pluviometrica di Monticiano

Oltre ai dati di pioggia stimati con il metodo della Regionalizzazione, si sono calcolate le stesse grandezze utilizzando la stazione pluviometrica di Monticiano in quanto la più pertinente all'area di progetto. Come riportato nel paragrafo 4.1 si sono utilizzati i dati della stazione prendendo direttamente le altezze stimare in funzione di differenti tempi di ritorno.

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	25.77	36.32	43.97	51.54	61.65	69.61	77.82
3	33.45	46.80	57.19	68.78	85.96	99.64	113.57
6	39.44	54.93	67.50	82.52	106.02	124.96	144.17
12	46.49	64.46	79.66	99.00	130.77	156.70	183.01
24	54.81	75.65	94.02	118.77	161.29	196.50	232.32

Tabella 1 - altezze di pioggia al pluviometro di Monticiano

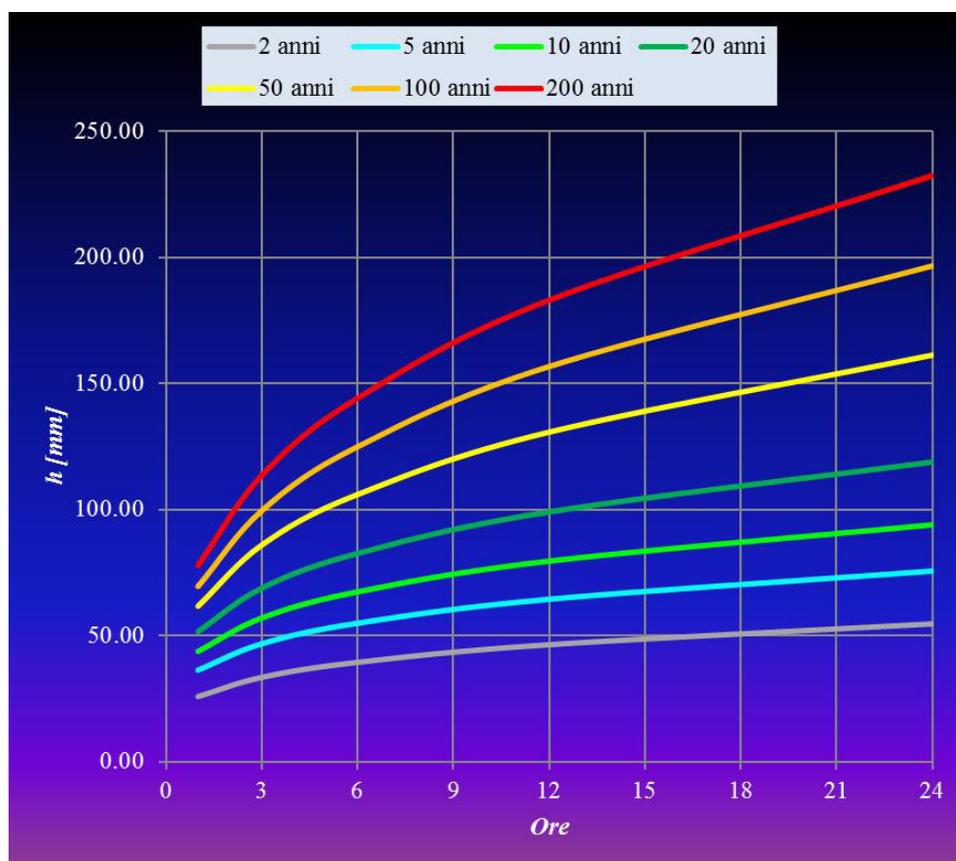


Figura 3 - Curve di possibilità climatica Monticiano

4.2 Stima delle piogge di forte intensità e breve durata

È stato notato che i rapporti r_t tra le altezze di durata t molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. Bell (1969), osservando che i valori medi di tali rapporti variano in misura modesta negli Stati Uniti e in Australia, riporta i parametri statistici indicati nella tabella 1. Il campo di variabilità di r_t negli Stati Uniti e nell'ex-Unione Sovietica è indicato nella Tabella 2

Parametro	t (minuti)			
	5	15	30	120
Stati Uniti				
Media	0,29	0,57	0,79	1,25
Deviazione standard (appross.)	0,03	0,04	0,04	0,08
Australia				
<i>Tempo di ritorno 2 anni (media)</i>	0,30	0,57	0,77	1,24
<i>Tempo di ritorno 10 anni (media)</i>	0,31	0,58	0,78	1,25
<i>Tempo di ritorno 25 anni (media)</i>	0,30	0,58	0,79	1,23
Media	0,30	0,57	0,78	1,24
Deviazione standard	0,04	0,04	0,03	0,06

Tabella 2 - Rapporti r_t tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e in Australia (Bell, 1969)

Parametro	t (minuti)			
	5	15	30	120
Stati Uniti				
Valore superiore	0,32	0,61	0,83	1,31
Valore inferiore	0,26	0,53	0,75	1,17
Unione Sovietica				
Valore superiore	0,32	0,61	0,83	1,31
Valore inferiore	0,26	0,53	0,75	1,17

Tabella 3 - Intervalli di variazione dei rapporti r_t tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e nell'ex-Unione Sovietica (Bell, 1969)

Per brevi durate (meno di 2 ore) i rapporti appaiono più stabili che per durate maggiori (Bell, 1969, Goswami, 1973). Gli stessi rapporti per la curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo, di equazione:

$$h_t = 390 \cdot t^{0.50}$$

con t in ore, sono (Jennings, 1950, Hershfield ed Engman, 1981):

<i>t (minuti)</i>	5	10	15	20	30	45	120	240
$rt = ht/h1$	0,29	0,41	0,50	0,58	0,71	0,87	1,41	2,00

Al pluviometro registratore di Roma Macao su un campione di 8 anni sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno (Domanico, 1986; Calenda e altri, 1993):

<i>t (minuti)</i>	5	10	15	20	25	30
$rt,m = ht,m/h1,m$	0,278	0,435	0,537	0,632	0,709	0,758

Al pluviografo di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga e altri, 1990) sono stati calcolati i seguenti rapporti tra i valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata h_t e il valor medio della massima altezza annua oraria h_1 , nonché i corrispondenti rapporti dei valori massimi:

<i>t (minuti)</i>	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$rt = ht/h1$	0,130	0,180	0,229	0,272	0,322	0,489	0,601	0,811	0,913
$rt,m = ht,m/h1,m$	0,155	0,178	0,215	0,241	0,304	0,449	0,568	0,700	0,799

Applicando i coefficienti di riduzione ricavati dal pluviografo di Roma Macao, tale strumento è più pertinente alla stima dei dati di pioggia intensa in quanto è più prossimo all'area di intervento, si ottiene la relazione che lega l'altezza di pioggia con la durata per eventi meteorici di notevole intensità e breve durata con i tempi di ritorno oggetto di studio.

$$Tr = 2 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 27.68t^{0.518}$$

$$Tr = 5 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 39.01t^{0.518}$$

$$Tr = 10 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 47.23t^{0.518}$$

$$Tr = 20 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 55.36t^{0.518}$$

$$Tr = 50 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 66.22t^{0.518}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 74.77t^{0.518}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 83.58t^{0.518}$$

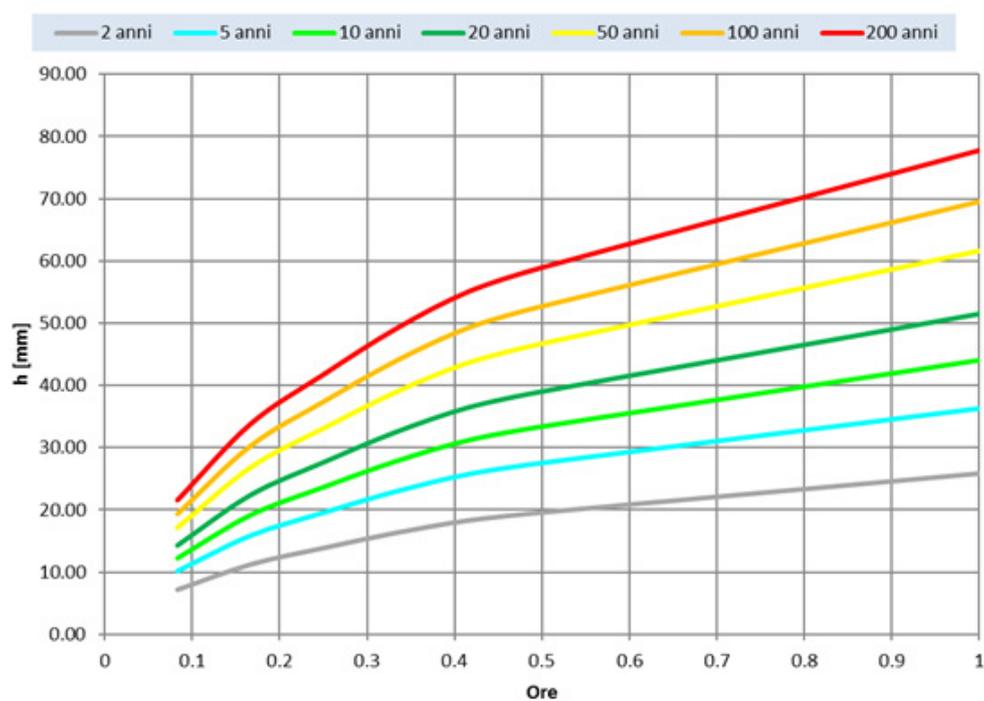


Tabella 4 - Curve di possibilità pluviometrica piogge di forte intensità e breve durata

5 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

Nel seguente paragrafo si riportano i metodi di trasformazione afflussi-deflussi e la metodologia per la stima dei coefficienti di deflusso che permetteranno il calcolo delle portate di piena.

La trasformazione afflussi-deflussi raggruppa l'insieme di diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso si incanali all'interno della rete idrografica.

Si può schematizzare tale metodo nella figura sottostante.

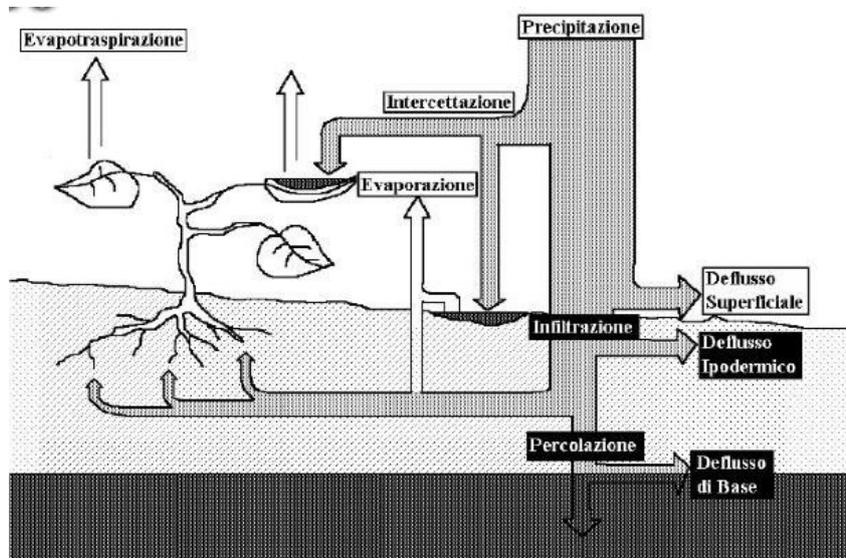


Figura 4 - Schema trasformazione afflussi-deflussi

La precipitazione viene in parte intercettata dalla vegetazione, in parte si infiltra nel terreno, in parte si accumula in piccoli invasi naturali e/o artificiali come per esempio avvallamenti nel terreno, pozze o impluvi artificiali mentre la parte rimanente costituisce il deflusso superficiale che scorrerà verso la rete idrografica in funzione della pendenza del bacino idrografico.

Il sistema suolo-vegetazione, quindi, costituisce una naturale capacità di invaso che tende a decurtare parte della pioggia che arriverà nella rete idrografica.

La riduzione della pioggia è dunque dipendente dalla capacità complessiva degli invasi che risulterà variabile nel tempo in quanto funzione del progressivo riempimento degli invasi e sia in funzione dei processi di trasferimento dell'acqua che agiscono nel sistema suolo-atmosfera.

La modellazione afflussi-deflussi è dunque la componente essenziale per la ricostruzione/stima degli idrogrammi di piena a partire dalla distribuzione areale delle piogge insistenti sul bacino idrografico.

Dal punto di vista matematico, il problema della ricostruzione di un idrogramma di piena può essere visto come la messa a punto di un filtro il cui ingresso è costituito da misure di una variabile $P(s,t)$ - la precipitazione insistente sul bacino durante un particolare evento - di tipo distribuito, ovvero dipendente sia dalla coordinata temporale t che dalla coordinata spaziale s e la cui uscita è una variabile $Q(t)$ - la portata nella sezione di chiusura del bacino - di tipo integrato nello spazio, ovvero dipendente solo dal tempo.

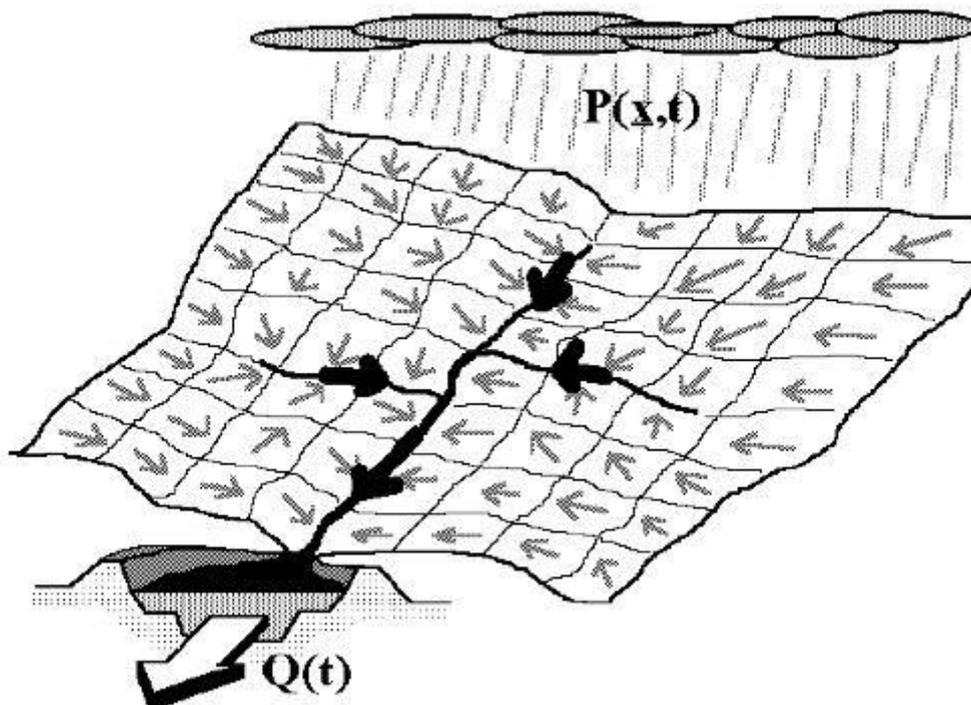


Figura 5 - Schema di trasferimento della pioggia

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi, ciascuno dei quali può essere rappresentato tramite un opportuno sotto-modello specializzato. In particolare, l'ingresso principale al modello sarà costituito da una serie di misure di pioggia, nel caso in esame si sono utilizzati i dati ricavati utilizzando il metodo di regionalizzazione delle piogge che sono stati interpolati mediante un opportuno modello estimativo, in modo da ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e

nel tempo in termini di afflussi per unità di area (ovvero con dimensioni di portata per unità di area).

La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale (ed eventualmente anche in deflusso ipodermico, nei limiti precedentemente accennati), detta anche precipitazione efficace o deflusso efficace, verrà stimata con un opportuno modello di trasformazione afflussi – deflussi, che stimerà la produzione di deflusso $q(s, t)$ idealmente in ciascun punto del bacino, avente questa ancora le dimensioni di una portata per unità di area.

Infine, il processo di concentrazione dei deflussi superficiali nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo sino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno modello di formazione dell'onda di piena.

In riferimento ai tempi di ritorno dell'evento di progetto, sono stati utilizzati i seguenti metodi di ricostruzione delle portate:

- per il F. Merse, costituente il maggiore corso d'acqua in studio, è stata ricostruita la portata di piena con T_r 200 anni per l'attraversamento in loc.tà Ponte a Macereto (opera S10), attraverso il confronto di più metodologie;
- per gli attraversamenti dei corsi d'acqua ricadenti nell'elenco della LR n. 79/2012 e smi, è stato applicato il metodo del Curve Number per l'individuazione del coefficiente di deflusso, applicando il metodo razionale per il calcolo delle portate con T_r 200 anni;
- per gli attraversamenti delle opere d'arte secondarie (ponticelli), nonché per i dimensionamenti e verifica dei tombini e dei manufatti per lo smaltimento delle acque di piattaforma, è stato applicato il metodo razionale, in ragione delle ridotte dimensioni dei bacini, con stima del coefficiente di deflusso.

5.1 Il metodo Razionale

Per il calcolo delle portate di progetto è stato applicato il metodo razionale, secondo la relazione:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot i}{3,6}$$

essendo:

- $i = \frac{at_c^n}{t_c}$ [mm/ora] intensità di pioggia supposta uniformemente distribuita su tutto il bacino;
- A area del bacino;

- C il coefficiente di deflusso, dato dal rapporto tra la pioggia che dà origine al deflusso e la pioggia totale.

Tale metodo prevede quindi una pioggia di intensità i costante, riferita al tempo di ritorno considerato, di durata pari al tempo di corrivazione del bacino in oggetto.

Il tempo di corrivazione si definisce come somma di due contributi:

$$t_c = t_a + t_r$$

essendo:

- t_a il tempo, misurato dall'inizio dell'evento pluviometrico, a cui si manifesta lo scorrimento nel canale di drenaggio principale (tempo di saturazione + tempo di trasferimento alla rete principale);
- t_r il tempo di scorrimento lungo il corso d'acqua o lungo il canale, fino alla sezione di chiusura.

Per quello che riguarda la stima del coefficiente C di deflusso, per bacini di ridotte dimensioni, sono stati assunti i valori dei coefficienti di afflusso C e le percentuali di ripartizione tra aree boschive, aree ad uso agricolo e aree urbanizzate, sulla base dei valori riportati nella tabella seguente e da cui deriva un valore stimato di $C=0.32$.

	Coefficiente di afflusso C	%
Aree boschive	0,3	90%
Aree ad uso agricolo	0,5	10%
Aree urbanizzate	0,9 – 1,0	0.00%

Tabella 5 - Coefficienti di afflusso C per tipologia di uso del suolo dei bacini

5.2 Il metodo del Curve Number per l'individuazione del coefficiente di deflusso

Il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service americano, si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili solo in approcci distribuiti e semidistribuiti, e i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati.

Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, dall'inizio dell'evento di precipitazione, ponendo la pioggia $P(t)$, uguale alla somma del deflusso superficiale $Q(t)$, delle perdite iniziali $I_a(t)$ prima della produzione di deflusso e di quelle successive $I(t)$:

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

Tutte queste grandezze sono espresse in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm).

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso e il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S :

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

È inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3, che nella procedura standard utilizzata viene assunto pari a 0,2.

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S , che a sua volta è espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto curve number, che a sua volta è tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine curve number deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i

volumi di deflusso e di precipitazione (coefficiente di deflusso cumulato) in funzione del volume della precipitazione.

Definendo il coefficiente di deflusso come:

$$C = Q / P$$

Dove:

- Q (mm) è il deflusso di piena
- P (mm) è l'afflusso meteorico

Il coefficiente di afflusso è funzione dell'afflusso meteorico P, secondo l'espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2 K)^2}{(1 + 0.8 K)}$$

dove: $K = S / P$

dipende dalla grandezza S (mm), definita ritenzione potenziale del bacino, che risulta funzione, attraverso “runoff curve number” (CN), della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, della sua copertura vegetale, ecc., secondo l'espressione:

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

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno:

- gruppo A: (elevata infiltrazione) terreni sabbiosi molto permeabili;
- gruppo B: (infiltrazione moderata) terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- gruppo C: (infiltrazione lenta) terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- gruppo D: (infiltrazione molto lenta) terreni argillosi quasi impermeabili.

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano 3:

- condizione I: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;
- condizione II: il terreno è mediamente umido;



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

- condizione III: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento considerato; nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 25 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Il SCS propone per l'intercettazione iniziale (perdite iniziali): $la = 0.2 S$

Dalle relazioni precedenti, è possibile quindi calcolare il deflusso medio Q (mm) durante un evento piovoso, applicando le relazioni:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \text{ se } P > 0,2 S$$

$$Q = 0 \text{ se } P \leq 0,2 S$$

In considerazione dei tipi e degli usi di suolo della zona in esame, sono stati assunti i seguenti valori di CN II:

	CN II
boscoso - arbusti	67
foresta	70
brughiera	77
agricolo	79

6 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEI CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

Sono stati analizzati n°8 sottobacini d'interesse, che ricadono tra quelli da sottoporre a controllo ai sensi della L.R. 79/2012 e smi, elencati di seguito nell'ordine procedendo lungo la viabilità di progetto da Siena verso Grosseto:

1. Fosso Bagnoli
2. Fosso S. Biagio
3. Fosso Maceratano
4. Fosso Martini
5. Fosso Montisi
6. Fosso Barottoli
7. Fosso Cerri
8. Fosso Faulle
9. Fosso Ornate

Per l'individuazione del coefficiente di deflusso il procedimento seguito è spiegato di seguito.

Innanzitutto, è stato individuato il CN II sulla base dell'uso del suolo, si è fatto poi riferimento al CN III (terreno saturo), ipotizzando il terreno saturo a causa d'intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti all'evento considerato, a vantaggio di sicurezza. Tale ipotesi appare opportuna in ragione delle ridotte dimensioni dei bacini in esame.

I principali dati dei bacini in esame sono stati ricavati dalla CTR 1:10.000, con riferimento all'elaborato grafico COROGRAFIA DEI BACINI.

Di seguito si riportano i dati utilizzati e il calcolo delle portate di piena con $Tr = 200$ anni, utilizzando la curva di possibilità climatica E applicando il metodo di regionalizzazione della Regione Toscana.

Le caratteristiche geometriche dei bacini sono mostrate nelle tabelle seguenti.

Nella tabella di seguito mostrata, i bacini sono stati raggruppati sulla base delle Formule utilizzate per il calcolo della portata, che in letteratura sono distinte in base all'estensione del bacino stesso.

Per il calcolo dei tempi di corrivazione, sono state utilizzate diverse formulazioni in funzione della geometria dei bacini imbriferi.



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto - Siena (S.S. 223 "Di Paganico")
dal km 41+600 al km 53+400 - Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

	Area bacino	L asta princ	H ₀ sez chiusura	Hmax bacino	Hmedia pesata	P media
	kmq	km	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	%
Fosso Ornate	17.0	6.7	165	557	361	5.85
Fosso Faulle	3.7	4.2	169	518	344	8.31
Fosso Cerri	1.8	2.3	170	497	334	14.21
Fosso Barottoli	3.8	3.7	171	453	312	12.26
Fosso Montisi	1.1	1.5	173	316	244	9.53
Fosso Maceratano	8.8	4.6	172	485	328	6.80
Fosso Martini	1.10	1.5	173	316	244	9.53
Fosso S. Biagio	4.3	4.0	185	382	283	4.93
Fosso Bagnoli	4.5	3.7	184	374	279	5.14

Tabella 6 - Geometria bacini principali

6.1 Metodologia utilizzata

All'interno del metodo di corrivazione è qui descritto in breve il procedimento seguito per la determinazione delle portate.

1) Determinazione t_c :

Le formule utilizzate per l'individuazione del tempo di corrivazione del bacino sono:

- Per bacini di $A > 8 \text{ km}^2$ si è scelto di utilizzare la Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{\text{media}} - h_{\text{min}}}}$$

- Per bacini di $A < 8 \text{ km}^2$ si è scelto di utilizzare un tempo di corrivazione mediato da diverse formule sperimentali presenti in letteratura.

Si è desunto un t_c compatibile con quelli restituiti da Ventura, Viparelli, Pasini, Kirpich, Pezzoli, le cui formule sono di seguito riportate:

Ventura: $t_c = 0.127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$

Viparelli $T_c = L / (60 * V)$

Pasini $T_c = \frac{24 \cdot 0.045 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i \cdot 100}}$

Kirpich: $T_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$

Pezzoli $t_c = \frac{0.055 L}{\sqrt{i}}$



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

6.1.1 Curve di possibilità climatica

In base all'analisi di regionalizzazione per la stima dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica per tutti i bacini di seguito sono sintetizzati i parametri a ed n:

ID Opera	BACINO	a	n	A[km ²]	H0[m]	Hmax[m]	Hmed[m]	L[m]	L[km]	i[m/m]	tc[ore]	h[mm]	h[mm]	ic[mm/h]	ic[mm/h]
S_01-02	Ornate	78.35	0.326	17.0	165	557	361	6676	6.676	0.059	2.37	103.77	104.47	43.83	44.13
		78.63	0.330									104.49		44.14	
		77.7	0.338									103.98		43.92	
		77.96	0.341									104.59		44.18	
		78.83	0.335									105.21		44.44	
		78.37	0.347									105.69		44.64	
		77.83	0.344									104.68		44.22	
		77.59	0.345									104.46		44.12	
		77.07	0.343									103.57		43.75	
		77.74	0.341									104.29		44.05	
S_05	7	76.42	0.344	0.3	189.6	365	277.3	1129	1.129	0.16	0.15	39.75	39.77	266.54	266.71
		76.56	0.344									39.80		266.87	
S_09	Faule	77.82	0.344	3.7	169	518	343.5	4164	4.164	0.084	0.88	74.57	73.63	84.40	83.33
		76.61	0.348									73.38		83.05	
		76.74	0.346									73.52		83.21	
		76.56	0.347									73.34		83.00	
		76.39	0.349									73.16		82.80	
		76.45	0.351									73.20		82.84	
77.48	0.343									74.26	84.04				
S_11	Cerri	75.99	0.346	1.8	170.8	496.8	333.8	2305	2.305	0.141	0.46	57.89	58.82	127.09	129.13
		77.24	0.342									59.03		129.59	
		76.41	0.338									58.58		128.60	
		76.95	0.331									59.31		130.22	
		76.56	0.328									59.15		129.87	
		76.84	0.337									58.95		129.43	
S_12	Barottoli	76.84	0.342	3.8	170.7	452.9	311.8	3746	3.746	0.075	0.93	75.02	74.98	80.47	80.43
		76.41	0.338									74.62		80.04	
		76.95	0.331									75.18		80.64	
		76.56	0.328									74.82		80.25	
		76.89	0.327									75.14		80.60	
		76.75	0.33									75.00		80.45	
		77.13	0.333									75.34		80.82	
		76.89	0.342									75.06		80.52	
76.39	0.332									74.64	80.06				
S_14	Montisi	76.39	0.342	1.1	172.8	316	244.4	1545	1.545	0.093	0.43	57.02	57.27	134.12	134.72
		76.19	0.341									56.92		133.88	
		76.89	0.332									57.88		136.15	

ID Opera	BACINO	a	n	A[km ²]	H0[m]	Hmax[m]	Hmed[m]	L[m]	L[km]	i[m/m]	tc[ore]	h[mm]	h[mm]	ic[mm/h]
S_15	Maceratano	76.34	0.327	8.8	172.2	484.6	328.4	4611	4.611	0.068	1.88	93.85	94.35	49.90
		76.19	0.33									93.85		49.90
		76.89	0.332									94.83		50.42
		76.64	0.341									95.06		50.55
		76.27	0.344									94.78		50.40
		75.96	0.342									94.28		50.13
		76.8	0.334									94.84		50.43
		76.75	0.329									94.47		50.23
		76.09	0.328									93.60		49.77
		76.7	0.326									94.24		50.11
		76.27	0.334									94.18		50.08
		76.31	0.336									94.35		50.17
76.04	0.34	94.26	50.12											
S_17	Martini	76.11	0.343	0.7	189.6	365	277.3	1087	1.087	0.161	0.14	39.07	39.15	273.55
		76.04	0.34									39.23		274.66
S_20	S.Biagio	74.76	0.336	4.3	184.8	382	283.4	4039	4.039	0.049	1.23	80.05	80.93	65.32
		76.17	0.343									81.67		66.65
		74.97	0.341									80.35		65.57
		75.99	0.346									81.53		66.53
		75.4	0.344									80.86		65.99
		75.7	0.342									81.15		66.22
		75.36	0.333									80.63		65.80
75.93	0.331	81.22	66.28											
S_21	Bagnoli	75.4	0.346	4.5	183.9	374	278.95	3713	3.713	0.051	1.20	80.34	80.19	66.88
		75.15	0.345									80.06		66.65
		74.99	0.343									79.85		66.48
		75.3	0.333									80.04		66.63
		76.17	0.341									81.09		67.50
		75.35	0.344									80.26		66.81
		75.3	0.342									80.17		66.74
		75.39	0.347									80.34		66.88
74.62	0.349	79.55	66.23											

Tabella 7 - Parametri a ed n

6.1.2 Metodo del Curve Number per la determinazione del coefficiente di deflusso

$$S = 25.4 \times ((1000/CN)-10)$$

$$K = S/hc$$

$$C = (1-0.2 \times K)^n / (1+0.8 \times K)$$

6.1.3 Determinazione del valore della portata

$$Q = CiA/3.6 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Si mostrano i valori delle portate calcolati per tempo di ritorno di 200 anni.

BACINO	CN(III)	S	K	ϕ	Q[m ³ /s]
Ornate	78.7	68.74	0.66	0.49	102.32
7	79.5	65.50	1.65	0.30	7.28
Faule	79.0	67.52	0.92	0.38	33.15
Cerri	91.3	24.20	0.41	0.63	39.88
Barottoli	91.9	22.39	0.30	0.71	61.32
Montisi	89.3	30.43	0.53	0.56	22.30
Maceratano	88.6	32.68	0.35	0.68	83.04
Martini	80.6	61.14	1.56	0.30	16.20
S.Biagio	86.4	39.98	0.49	0.58	52.00
Bagnoli	88.4	33.33	0.42	0.63	54.60

Tabella 8 - Portate

7 PORTATE DI PIENA PER I TOMBINI

I tombini cui si fa riferimento di seguito sono cosiddetti “minori”, in ragione del fatto che le dimensioni prospettate per codesti attraversamenti della sede stradale non superano i 3*3 m. Nelle tabelle inserite di seguito si mostrano le caratteristiche geometriche dei bacini che afferiscono a questi tombini, le caratteristiche idrologiche e le portate.



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Le caratteristiche geometriche dei bacini riferiti ai tombini principali:

principali	Area bacino	H0 sez chiusura	Hmax bacino	Lungh percorso	i media asta
	kmq	m s.l.m.	m s.l.m.	m	m/m
tombino 2	0.140	167.1	300	635.6	0.21
tombino 3	0.140	162.8	312.1	752.89	0.20
tombino 4	0.364	164	336.5	1157.4	0.15
tombino 5	0.038	172	230	256.18	0.23
tombino 6	0.137	173	320.1	505.8	0.29
tombino 7	0.675	175.7	429.4	1917	0.13
tombino 8	0.043	186.6	290	334.6	0.31
tombino 9	0.019	196	290	314	0.30
tombino 10	0.328	196	217	141.5	0.15
tombino 11	0.106	171.6	309.6	434.57	0.32
tombino 12	0.305	170.3	314.1	888.4	0.16
tombino 13	0.014	167.8	213.2	456.2	0.10
tombino 15	0.110	171.7	211.1	466.9	0.08
tombino 16	0.052	178.5	211.1	431.48	0.08
tombino 18	0.217	170.9	249.1	849.5	0.09
tombino 19	0.828	174.9	320.1	1325	0.11
tombino 20	0.026	203	220.3	230	0.08
tombino 22	0.119	187	264.9	620.8	0.13
tombino 23	0.075	181	264.9	522.5	0.16
tombino 24	0.056	178	224.9	352.6	0.13
tombino 25	0.126	176.7	255.9	499	0.16
tombino 26	0.154	177.9	332.9	852.7	0.18
tombino 27	0.240	179.7	332.9	849.45	0.18
tombino 28	0.128	183.2	225	480	0.09
tombino 29	0.049	181.9	222.2	384	0.10
tombino 30	0.095	181.9	222.2	529.5	0.08
tombino 31	0.169	185.6	217.9	639.5	0.05
tombino 32	0.212	183.4	224.3	817.5	0.05

Le caratteristiche idrologiche dei bacini riferiti ai tombini principali:

principali	Kirpich			
	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m3/s)
tombino 2	0.15	40.90	272.64	3.55
tombino 3	0.15	40.84	272.28	3.30
tombino 4	0.15	41.05	265.61	8.60
tombino 5	0.15	40.51	270.05	0.90
tombino 6	0.15	40.84	272.28	3.30
tombino 7	0.24	47.06	197.23	11.90
tombino 8	0.15	39.79	265.25	1.00
tombino 9	0.15	39.85	275.69	0.50
tombino 10	0.15	40.51	270.05	0.10
tombino 11	0.15	40.51	270.05	2.50
tombino 12	0.15	40.51	270.05	7.30
tombino 13	0.15	40.51	270.05	1.40
tombino 15	0.15	40.51	270.05	2.60
tombino 16	0.15	40.51	270.05	1.20
tombino 18	0.15	40.51	270.05	5.20
tombino 19	0.19	43.19	223.71	17.80
tombino 20	0.15	40.51	270.05	0.60
tombino 22	0.15	40.51	270.05	2.90
tombino 23	0.15	40.51	270.05	1.80
tombino 24	0.15	40.51	270.05	1.30
tombino 25	0.15	40.51	270.05	3.00
tombino 26	0.15	40.51	270.05	3.70
tombino 27	0.15	40.51	270.05	5.80
tombino 28	0.15	40.51	270.05	3.10
tombino 29	0.15	40.51	270.05	1.20
tombino 30	0.15	40.51	270.05	2.30
tombino 31	0.15	40.51	270.05	4.10
tombino 32	0.18	43.13	239.61	4.50

Tabella 9 - Portate tombini

8 PORTATE DI PIENA DEL FIUME MERSE

Il fiume Merse, affluente in destra idrografica del fiume Ombrone, attraversa la viabilità principale in progetto in corrispondenza del viadotto denominato Macereto (opera S10).

Si mostra il bacino idrografico del fiume Merse:

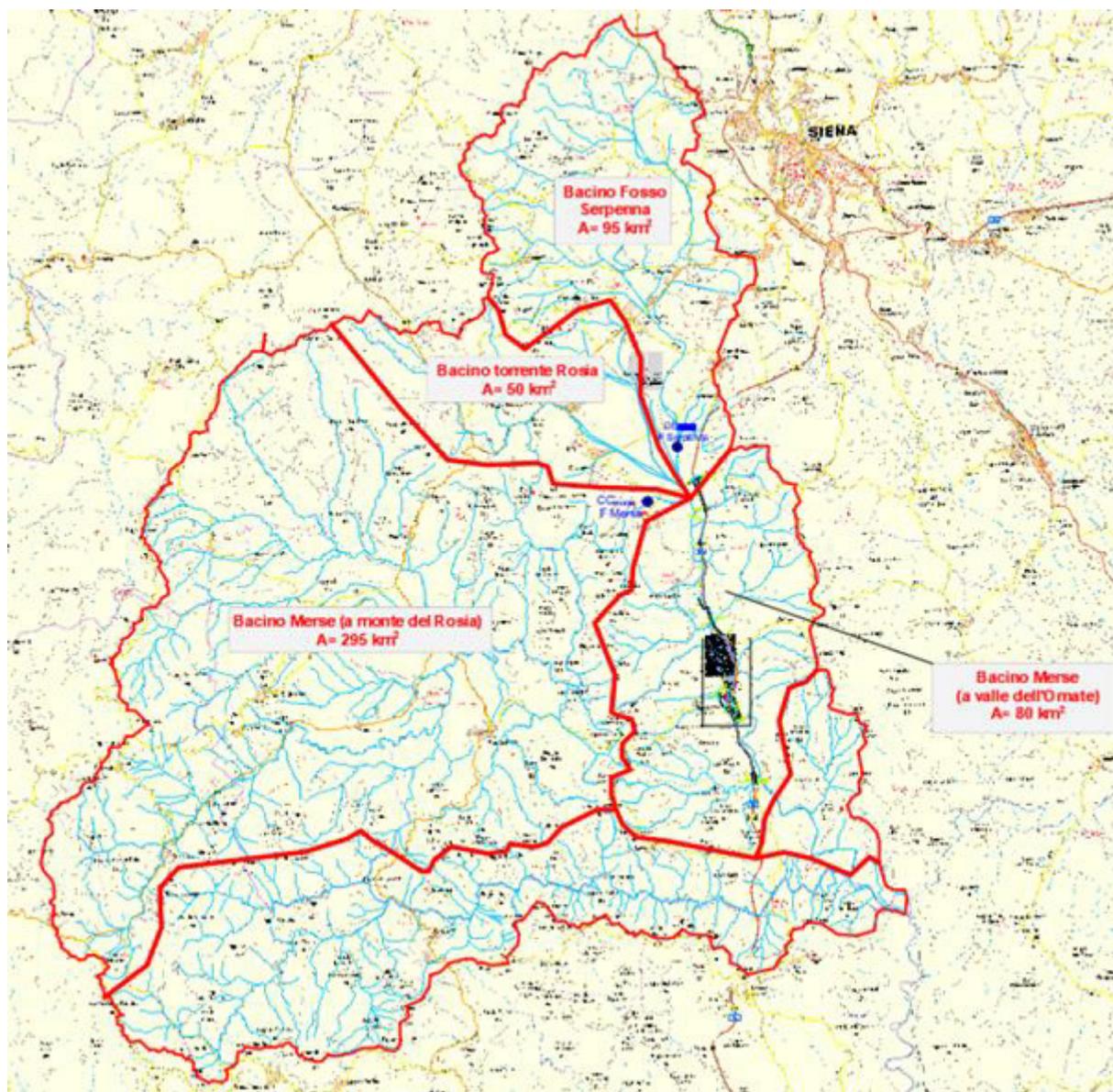


Figura 6 - Bacino del Merse



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

In ragione delle dimensioni del bacino idrografico sotteso, pari a circa 500 km² in corrispondenza della stazione idrografica di Ornate, la portata di piena con Tr 200 anni da utilizzarsi per le verifiche idrauliche è stata individuata confrontando i risultati dei seguenti metodi:

- analisi della serie storica dei dati idrometrici disponibili;
- ricostruzione dell'idrogramma di piena mediante l'applicazione del metodo di Nash;
- analisi dei dati dello studio di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana.

8.1 La serie storica dei dati idrometrici

Sul fiume Merse hanno funzionato due stazioni idrometriche del S.I.M.I.:

Codice	Nome stazione	Quota zero idrometrico	Area bacino (Km ²)	Altitudine media (m s.l.m.)	Dati disponibili
5700	Merse a Casa Mallecchi	226	265	419	1962 - 1982
5710	Merse a Ornate	140	483	365	1931 - 1979

Si è proceduto quindi alla stima della portata massima con tempo di ritorno pari a 200 anni per il fiume Merse in località Ponte a Macereto, avendo a disposizione i dati idrometrici della stazione di Ornate che presenta un bacino più esteso di quello considerato (condizione a vantaggio di sicurezza).

Alla serie storica dei dati delle portate massime annue misurate presso la stazione del fiume Merse a Ornate, è stata applicata una distribuzione del massimo valore secondo la legge di Gumbel (prima legge asintotica - EV1), come per le precipitazioni di massima intensità.

I dati disponibili delle portate massime annue sono elencati di seguito:

Data	Altezza idrometrica	Portata mc/s
13.12.1933	4.56	296
16.12.1934	5.55	430
11.11.1935	3.99	227
28.02.1936	4.56	296
11.12.1937	6.26	537
27.11.1938	3.94	220
14.05.1939	4.54	293
24.10.1940	6.74	613



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto - Siena (S.S. 223 "Di Paganico")
dal km 41+600 al km 53+400 - Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Data	Altezza idrometrica	Portata mc/s
31.01.1941	4.90	340
1942	-	-
05.12.1943	5.00	354
1944	-	-
1945	-	-
1946	-	-
1947	-	-
1948	-	-
26.11.1949	4.88	380
23.11.1950	5.06	362
03.01.1951	4.68	312
31.12.1952	3.14	135
20.12.1953	4.08	248
03.05.1954	4.04	232
20.12.1955	3.05	126
29.04.1956	3.92	218
21.02.1957	4.04	231
23.12.1958	6.22	531
24.12.1959	7.32	709
1960	-	-
1961	-	-
1962	-	-
1963	-	-

PROGETTO ESECUTIVO
RELAZIONE IDROLOGICA

Data	Altezza idrometrica	Portata mc/s
18.12.1964	4.68	311
01.09.1965	7.96	821
04.11.1966	8.58	934
17.02.1967	3.80	204
1968	-	-
1969	-	-
31.12.1970	4.14	244
07.06.1971	4.36	271
01.12.1972	4.20	252
14.02.1973	3.28	149
04.03.1974	3.83	208
19.03.1975	4.22	255
30.10.1976	5.15	374
31.01.1977	3.68	191
26.02.1978	5.14	373
10.01.1979	4.92	343

Tabella 10 - Altezza e portata massima al colmo annue – fiume Merse ad Ornate

Sugli annali idrologici, parte II – Portate e bilanci idrologici – è riportata una portata massima pari a 2.050 m³/s, con un contributo unitario di piena di 4.25 m³/s Km², registrata durante la piena del 5 settembre del 1960: tale dato è stato ricavato dall’extrapolazione della scala di deflusso dal livello misurato pari a 10,22 m.

Durante tal evento tuttavia, che distrusse l’impianto di misura, la portata eccezionale fu causata dall’onda di piena provocata dall’ostruzione seguita poi dal crollo del ponte di S. Lorenzo a Merse, il quale per la massa del materiale addossato alle sue strutture che ne limitavano la sezione fluviale, aveva parzialmente sbarrato il corso d’acqua determinando così, un notevole invaso a monte.



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto - Siena (S.S. 223 "Di Paganico")
dal km 41+600 al km 53+400 - Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Tale dato non risulta quindi utilizzabile, essendo legato ad un evento particolare.

Durante tal evento eccezionale, dalle ore 6 alle 14 del 05/09/1960 furono registrate nei pluviometri riportati di seguito le seguenti precipitazioni:

Stazione	Altezza totale di pioggia (mm), registrata dalle ore 6 alle 14	Precipitazione massima in un'ora mm
Chiusdino	295	85
Rosia	212	-
Cotorniano	208	56
S. Galgano	297	-
Sovicille	155	-
Siena Poggio al Vento	99	-

Tabella 11 - Dati riassuntivo stazione idrometrica sul fiume Merse ad Ornate (da Annali Idrologici)

La pioggia ragguagliata al bacino chiuso alla stazione di Ornate è stata di 197 mm.

UFFICIO IDROGRAFICO DI PISA

Portate e bilanci idrologici - Tab. 25

MERSE (Ombrone) a Ornate

Bacino km^2 483 [permeab. 20%] - Altit. max 1051 m s.m.; med. 365 m s.m.; zero idrom. [140.00] m s.m.; distanza dalla confluenza col Farma km 6,80 circa - Inizio osserv. I (dicembre 1930) Ir (luglio 1934) (con lacune dal giugno 1944 al luglio 1947; dal settembre 1960 al maggio 1963 e dall'ottobre 1968 al gennaio 1970); inizio misure novembre 1930 - Alt. idr. max m 10,22 (5 settembre 1960); min. m³/s 0,24 (10 luglio 1948) - Portata max m³/s 2050,00 (5 settembre 1960); min. m³/s 0,82 (6-7-8 settembre 1949)



ANNI	Portate annue		PORTATE MENSILI (m ³ /s)											
	l/s. km ²	m ³ /s	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
1931-1959	12.4	5.97	7.80	9.04	9.30	6.66	6.16	3.41	2.45	1.81	2.38	4.38	6.93	11.40
1961	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1962	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1963	14.9	7.19	19.40	15.60	4.88	8.41	5.84	4.97	2.23	1.89	2.11	2.98	7.79	10.80
1964	18.3	8.84	4.22	10.30	19.80	9.98	3.44	2.53	2.19	1.74	1.70	14.50	6.89	28.40
1965	22.2	10.70	18.80	6.66	15.50	6.03	5.24	5.01	2.19	2.53	23.00	2.96	29.40	10.90
1966	21.7	10.50	12.50	15.00	6.07	5.27	3.91	2.67	2.04	1.75	2.56	11.30	52.30	11.00
1967	11.5	5.57	7.68	11.10	10.60	6.13	5.77	6.32	1.58	1.44	2.42	2.02	4.30	7.46
1968	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1969	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1970	14.0	6.75	18.30	9.83	17.10	6.16	4.21	2.77	1.81	1.89	1.67	1.53	2.28	13.30
1963-1970	17.1	8.26	13.50	11.40	12.30	7.00	4.73	4.05	2.01	1.87	5.58	5.88	17.20	13.60

ANNI	BILANCIO IDROLOGICO				PORTATE (m ³ /s)									
	Afflusso meteor. mm	Deflusso mm	Perdita appar. mm	Coeff. di deflusso	corrispondenti alle durate di giorni					Minima	Massima			
					10	91	182	274	355		giornaliera m ³ /s	l/s. km ²	al colmo m ³ /s	l/s. km ²
1931-1959	1008	390	618	0.39	29.1	5.27	2.90	1.95	1.25	0.82	315.0	652	709	1468
1961	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1962	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1963	1071	469	602	0.44	34.4	7.65	3.92	2.22	1.68	1.55	106.0	219	»	»
1964	1151	579	572	0.50	59.7	7.60	3.57	2.27	1.61	1.54	132.0	273	311	644
1965	1169	695	474	0.59	55.6	9.93	5.45	3.01	1.67	1.58	433.0	896	821	1700
1966	1234	682	552	0.55	41.2	8.50	4.61	2.18	1.55	1.46	629.0	1302	934	1934
1967	833	361	472	0.43	24.8	5.57	4.01	2.23	1.13	1.05	71.6	148	204	422
1968	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1969	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1970	890	441	449	0.50	50.1	5.93	2.64	1.67	1.46	1.41	112.0	232	244	505
1963-1970	1058	538	520	0.51	42.20	7.30	3.98	2.18	1.47	1.05	629.0	1302	(*)934	1934
1931-1970	1019	421	598	0.41	33.00	5.71	3.06	2.00	1.29	0.82	629.0	1302	934	1934

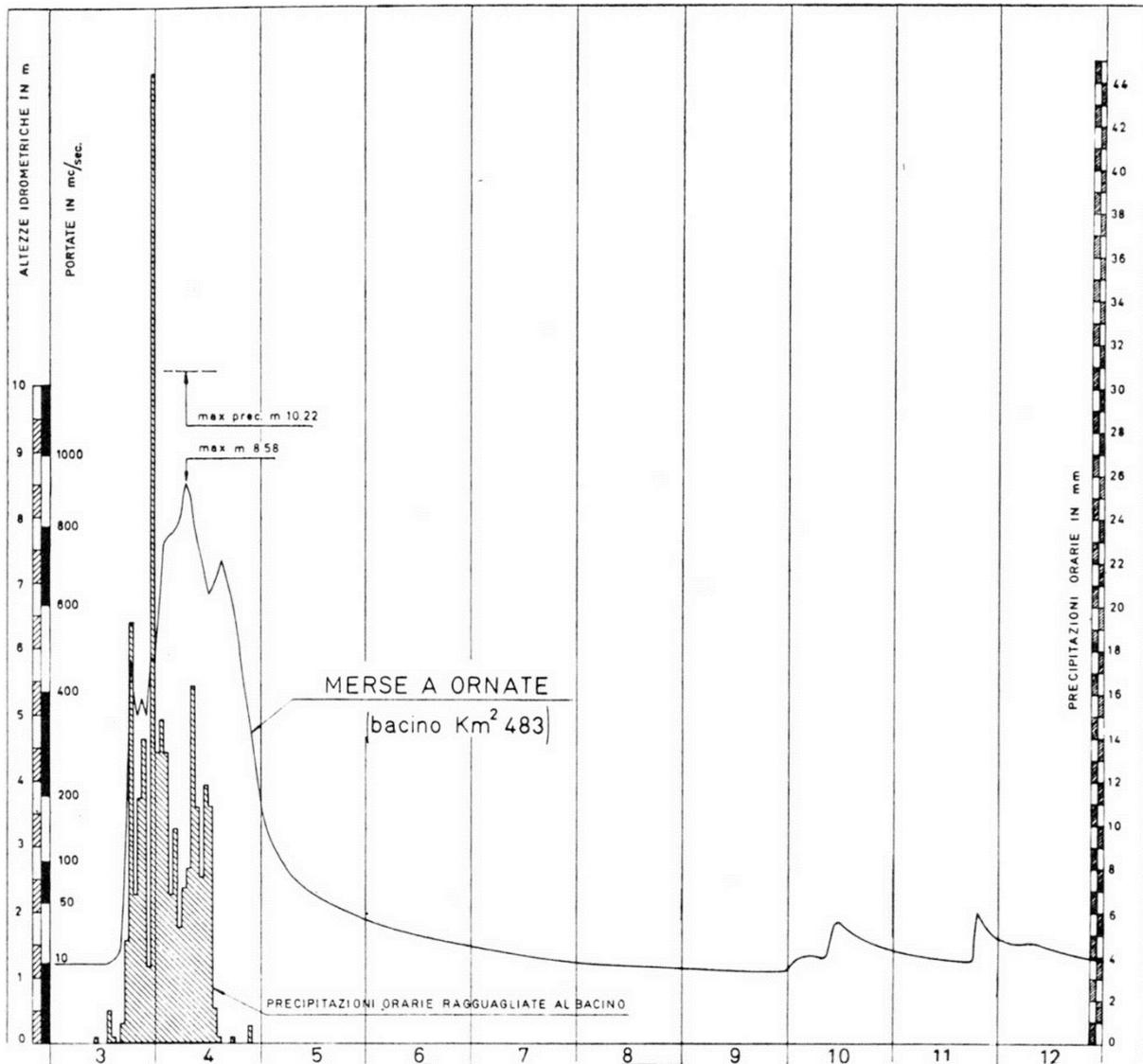
ELEMENTI CARATTERISTICI	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1931 + 1940; 1949 + 1959; 1963 + 1967 e 1970												
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q max (m ³ /s)	629.00	116.00	172.00	168.00	139.00	143.00	49.80	79.20	11.20	433.00	252.00	629.00	315.00
Q med. (m ³ /s)	6.49	9.06	9.57	9.97	6.74	5.85	3.55	2.35	1.83	3.09	4.72	9.21	11.90
Q min. (m ³ /s)	0.82	1.53	1.40	1.68	1.20	1.48	0.96	1.12	0.94	0.82	0.90	1.15	1.51
q (l/s. km ²)	13.4	18.8	19.8	20.6	14.0	12.1	7.3	4.9	3.8	6.4	9.8	19.1	24.6
Deflusso (mm)	421	50	48	55	36	32	19	13	10	17	26	49	66
Afflus. meteor. (mm)	1019	88	76	85	76	88	56	30	41	87	124	146	122
Perdite app. (mm)	598	38	28	30	40	56	37	17	31	70	98	97	56

(*) In effetti la portata massima registrata è stata di m³/s 2050, avvenuta il 5 settembre 1960, anno, però, in cui non fu possibile eseguire il bilancio, perché l'impianto andò distrutto con la piena.

La portata massima registrata nella serie storica disponibile risulta invece quella dell'evento alluvionale del novembre 1966, in cui le piogge furono caratterizzate dalla eccezionale concomitanza di continuità, di intensità e di estensione.

L'altezza al colmo è stata rilevata in m 8,58 sullo zero idrometrico: la portata corrispondente, dedotta dalla equazione $Q = 4,54 (h-1,07)^{3/2}$ (valida per $h > 2,70$ m), risulta di 934 m³/s, ed il relativo contributo unitario è di 1,93 m³/s Km².

Per questo evento si dispone, dagli annali idrologici, della registrazione dei livelli idrometrici e della ricostruzione delle precipitazioni medie ragguagliate, compiuta dal S.I.M.I., così come mostrato nella figura di seguito:



PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Tabella 7

VALORI CARATTERISTICI RELATIVI ALLA PIENA DEL NOVEMBRE 1966

CORSO D'ACQUA e STAZIONE	Bacino tributario			Afflusso meteorico						Deflusso									Portata massima		Rapporti caratteristici					
	Superficie km ²	Altitudine media m s.m.	Parte permeab. %	nelle 48 ore di massima precipitazione A		nelle 24 ore di massima precipitazione A ¹		nell'ora di max precipitazione A ²		nelle 48 ore di max deflusso D			nelle 24 ore di max deflusso D ¹			nell'ora di max deflusso D ²			m ³ /s	l/s km ²	D A	D ¹ A ¹	D ² A ²	O max/A	O max/A ¹	O max/A ²
				mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³	mm	10 ⁶ m ³	m ³ /s	l/s km	10 ⁶ m ³	m ³ /s	l/s km ²	10 ⁶ m ³	m ³ /s	l/s km ²	10 ⁶ m ³								
<i>Sieve (Arno)</i> a Fornacina . . .	831	490	5	201,3	167,3	180,8	150,2	12,3	10,2	598,00	719,6	103,3	933,00	1122,7	80,6	1330,00	1600,4	4,8	1340,00	1612,5	0,62	0,54	0,47	1,38	0,77	0,47
<i>Arno (*)</i> a S. Giovanni alla Vena . . .	8186	330	5	164,3	1345,0	145,7	1192,7	8,9	72,9	1623,00	198,3	280,5	1840,00	224,8	158,9	2290,00	2279,7	8,2	2290,00	279,7	0,21	0,13	0,11	0,29	0,17	0,11
<i>Merse (Ombrone)</i> a Ornate . . .	483	365	20	245,3	118,5	242,1	116,9	44,3	21,4	405,00	838,5	70,0	659,00	1364,4	56,9	925,00	1915,1	3,3	934,00	1933,7	0,59	0,49	0,15	1,36	0,69	0,16
<i>Ombrone</i> a Sasso d'Ombrone . . .	2657	346	7	201,3	534,9	190,3	505,6	22,7	60,3	1750,00	658,0	302,5	2740,00	1031,2	236,5	3110,00	1170,5	11,2	3110,00	1170,5	0,57	0,47	0,19	1,00	0,53	0,19

(*) E da tener presente che a monte della stazione di S. Giovanni alla Vena sono esondate, dall'Arno e dai suoi affluenti, imponenti masse d'acqua che, nella fase di crescita, hanno determinato una riduzione del gradiente di salita ed attenuata l'altezza al colmo, mentre nella fase di decrescita, man mano che le zone allagate restituivano le acque invasate, i livelli dell'Arno si sono mantenuti alquanto elevati per più giorni, de-

Per il fiume Farma al Ponte di Torniella, fu registrato un contributo unitario di 6,63 m³/s Km², contro il massimo precedente di 2,24 m³/s Km².

Come riportato sugli annali idrologici, “l’alluvione del 4 novembre ha assunto, nel Compartimento, l’ampiezza ed il rilievo di una catastrofe che non trova, negli eventi calamitosi naturali, almeno a memoria d’uomo, alcun possibile riscontro” (cfr. pag. 114).

8.2 Analisi della serie storica delle portate al colmo con il metodo di Gumbel

La stima dei parametri della distribuzione di Gumbel viene effettuata come per le precipitazioni massime con il metodo dei momenti.

I parametri α e u della distribuzione sono determinati dalle seguenti relazioni, in funzione della media μ e della varianza σ^2 della serie storica dei dati:

$$u = \mu - 0.450 \sigma$$

$$\alpha = 1.283/\sigma$$

E’ possibile rappresentare i dati su carta probabilistica di Gumbel, che ha coordinate lineari sia per la variabile in esame, cioè la portata, rappresentata in ascissa, che per la variabile ridotta y , riportata in ordinata:

$$y = \alpha (h-u) = -\ln(-\ln(P(h)))$$

Per il tempo di ritorno T_r , definito come la durata media, in anni, del periodo in cui la variabile idrologica X_T viene superata una sola volta, il legame con la probabilità di non superamento è espresso dalla:

$$P(X_T) = P(x \leq X_T) = 1 - 1/T_r$$

Ordinati quindi gli N eventi disponibili (pari agli anni di osservazione) in ordine decrescente e numerati da 1 a N , l’evento caratterizzato dalla i -esima posizione ha probabilità di non superamento espressa da:

$$P(i) = \frac{N+1-i}{N+1} = 1 - \frac{1}{T_r}$$

$$T_r = \frac{N+1}{i}$$

Numero progressivo	serie storica portate max (mc/s)	variabile ridotta alfa(h-u)	P(i)	-ln(-ln(P(i)))
1	934	4,652	0,972	3,569



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto - Siena (S.S. 223 "Di Paganico")
dal km 41+600 al km 53+400 - Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Numero progressivo	serie storica portate max (mc/s)	variabile ridotta alfa(h-u)	P(i)	-ln(-ln(P(i)))
2	821	3,873	0,944	2,862
3	709	3,100	0,917	2,442
4	613	2,437	0,889	2,139
5	537	1,913	0,861	1,900
6	531	1,872	0,833	1,702
7	430	1,175	0,806	1,531
8	380	0,830	0,778	1,381
9	374	0,788	0,750	1,246
10	373	0,781	0,722	1,123
11	362	0,705	0,694	1,009
12	354	0,650	0,667	0,903
13	343	0,574	0,639	0,803
14	340	0,554	0,611	0,708
15	312	0,360	0,583	0,618
16	311	0,354	0,556	0,531
17	296	0,250	0,528	0,448
18	296	0,250	0,500	0,367
19	293	0,229	0,472	0,287
20	271	0,078	0,444	0,210
21	255	-0,033	0,417	0,133
22	252	-0,054	0,389	0,057
23	248	-0,081	0,361	-0,018
24	244	-0,109	0,333	-0,094



Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori

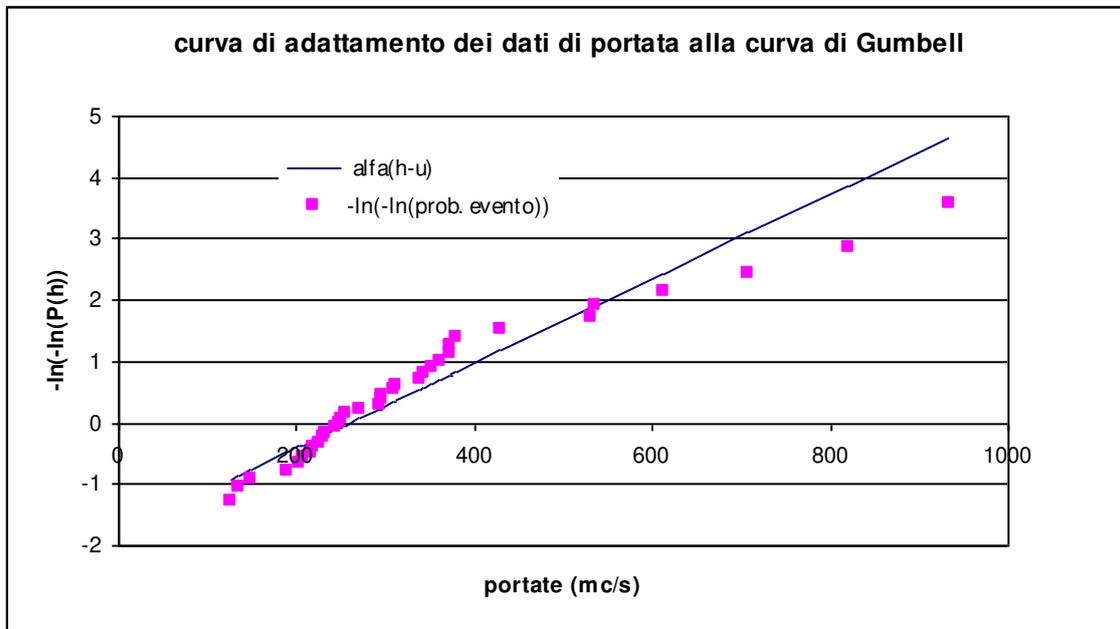
ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto - Siena (S.S. 223 "Di Paganico")
dal km 41+600 al km 53+400 - Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Numero progressivo	serie storica portate max (mc/s)	variabile ridotta alfa(h-u)	P(i)	-ln(-ln(P(i)))
25	232	-0,192	0,306	-0,170
26	231	-0,198	0,278	-0,248
27	227	-0,226	0,250	-0,327
28	220	-0,274	0,222	-0,408
29	218	-0,288	0,194	-0,493
30	208	-0,357	0,167	-0,583
31	204	-0,385	0,139	-0,680
32	191	-0,474	0,111	-0,787
33	149	-0,764	0,083	-0,910
34	135	-0,861	0,056	-1,061
35	126	-0,923	0,028	-1,276

Tabella 12 - Adattamento dei dati alla distribuzione di Gumbel



I risultati dell'elaborazione con il metodo dei momenti hanno portato a stimare i seguenti parametri per la serie storica disponibile:

media	343,429
Varianza σ^2	34.574,605
Std σ	185,942
u	259,754
alfa	0,00690

Utilizzando quindi l'espressione di Gumbel, nota la probabilità corrispondente al tempo di ritorno prefissato di 200 e 30 anni, si determina la portata massima:

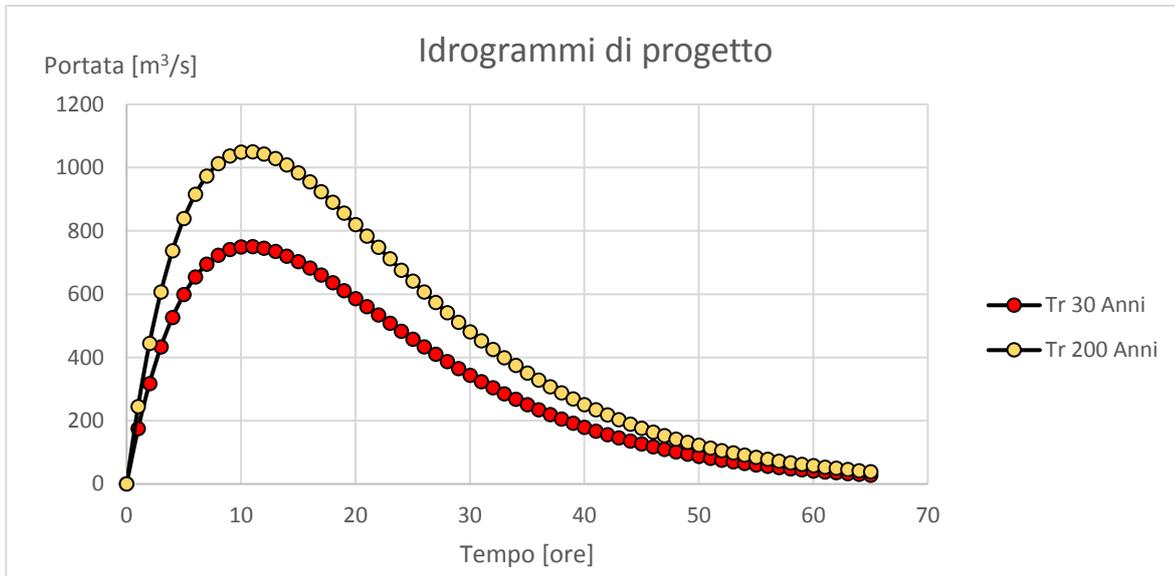
$$P(h) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

$$h = u - \frac{\ln(-\ln(P(h)))}{\alpha}$$

La portata massima con tempo di ritorno 200 e 30 anni è pari a:

$$Q_{200} = 1.050 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{30} = 755 \text{ m}^3/\text{s Km}^2$$



8.3 Applicazione del modello di Nash e determinazione dell'idrogramma di piena

Avendo a disposizione una registrazione di piena, per l'evento del novembre 1966, in cui è stato elaborato da S.I.M.I. l'idrogramma di piena registrato e il corrispondente ietogramma delle piogge ragguagliate all'intero bacino, ricavate dai pluviometri interni, è possibile stimare i parametri dell'idrogramma unitario (I.U.), incluso nelle procedure standard dell'U.S. Geological Survey.

Formalmente, l'I.U. può essere interpretato come l'idrogramma della piena provocata da una precipitazione di durata infinitesima e di volume unitario. La forma dell'I.U. è legata alla morfologia del bacino e della sua rete idrografica e può essere descritta attraverso diversi tipi di modelli.

Per la scelta del modello che si presta a descrivere matematicamente il bacino idrografico, si fa riferimento a quello di NASH (1957), che ipotizza una cascata di n serbatoi tutti uguali, con costante di invaso K.

Il sistema idrologico può essere descritto da un'equazione di continuità si fatta:

$$\frac{dV(t)}{dt} = I(t) - Q(t)$$

dove:

- $V(t)$ = volume
- $I(t)$ = input
- $Q(t)$ = output

Le ipotesi di risposta lineare del bacino e l'uniformità e la costanza dell'intensità della precipitazione su tutto il bacino permettono di ricavare una relazione tra input e output (run-off), tramite l'integrale di convoluzione tra la funzione di trasferimento del sistema (I.U.) e gli afflussi ($p(t)$):

$$Q(t) = \int_0^t U(t-\tau) \cdot p(\tau) d\tau$$

dove:

- $U(t)$ = IU (idrogramma istantaneo unitario di piena)
- $p(t)$ = afflusso efficace (o precipitazione netta)
- $Q(t)$ = portata in uscita (run-off)

Il modello di Nash porta a una funzione di trasferimento $U(t)$, avente le dimensioni dell'inverso di un tempo del tipo di distribuzione gamma a due parametri, funzione solo delle caratteristiche fisiche del sistema.

In particolare, n il parametro di forma è uguale al numero di serbatoi e il parametro di scala K alla loro costante di tempo.

Un serbatoio lineare è caratterizzato dalla relazione lineare tra volume e output:

$$S(t) = kQ(t)$$

e la risposta impulsiva di ciascun serbatoio è:

$$U(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}}$$

Essendo tutti i serbatoi in serie l'uno con l'altro e avendo tutti la stessa costante di tempo, per la cascata di n serbatoi si ottiene la funzione di trasferimento data da:

$$U(t) = \frac{1}{K \Gamma(n)} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad n > 1, k \geq 0$$

Dopo aver digitalizzato l'idrogramma e lo ietogramma disponibili per l'evento di piena del novembre 1966, si è proceduto alla stima dei parametri n e K per il fiume Merse fino ad Ornate.

Tale tipo di approccio è stato utilizzato anche dallo Studio di Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana (vedi paragrafi successivi).

I parametri del modello da stimare risultano:

- n - parametro di forma dell'idrogramma di Nash (numero di serbatoi lineari del modello di Nash)
- K - parametro di scala dell'idrogramma di Nash (ore)
- C_d - coefficiente di deflusso dell'evento, rapporto tra pioggia efficace e pioggia totale

La stima è stata effettuata utilizzando un foglio di calcolo elettronico, mediante un metodo numerico iterativo in grado di minimizzare la somma dei quadrati delle differenze tra l'idrogramma misurato e quello riprodotto.

La taratura sull'evento del 1966 ha consentito di stimare i seguenti parametri:

$n = 2,033$	parametro di forma
$K = 4,804$ ore	parametro di scala
$C_d = 0,561$	coefficiente di deflusso medio dell'evento

I parametri n e K possono tuttavia risentire del tipo di evento, mentre il loro prodotto (tempo di ritardo, distanza tra i baricentri dello ietogramma e dell'idrogramma) è più stabile per un bacino e risulta pari a:

$nK = 9,764$ ore	tempo di ritardo
------------------------------------	------------------

Una volta calcolati i parametri n e K del modello di Nash, introducendo una distribuzione delle piogge (ietogramma) è possibile calcolare la risposta in termini di deflusso del bacino idrografico modellato (ideogramma di piena).

La portata di massima piena con tempo di ritorno duecentennale è stata quindi determinata secondo il modello di Nash, tarato per il fiume Merse a Ornate, utilizzando le seguenti ipotesi:

- per le precipitazioni, una pioggia di intensità costante, pari al rapporto tra l'altezza di pioggia calcolata attraverso la ricostruita curva di possibilità pluviometrica del pluviometro di Chiusdino e la durata considerata. Per la durata critica della pioggia (di intensità costante), la portata massima è stata individuata

per un tempo di pioggia pari a 11 ore, tramite una successione di iterazioni con durate variabili, in modo da individuarne la rispettiva portata al colmo (vedi idrogrammi di piena riportati nelle figure successive). A favore di sicurezza non è stato effettuato alcun ragguaglio sulla precipitazione così calcolata;

- un coefficiente di deflusso medio di bacino pari a 0,80. Tale valore appare particolarmente cautelativo in ragione dei valori registrati nell'evento nel 1966 (dove è stato individuato un coefficiente di deflusso medio pari a 0,561).

La portata massima calcolata con tempo di ritorno duecentennale corrisponde ad una durata critica di pioggia di 11 ore (di intensità costante), risulta pari a:

$$Q_{200} = 999 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U_{200} = 2,07 \text{ m}^3/\text{s Km}^2 \quad \text{contributo unitario}$$

8.4 Lo studio di “Regionalizzazione delle portate di Piena in Toscana”

Come confronto dell'analisi idrologica svolta, sono stati utilizzati i dati disponibili presso l'Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Siena, desunti dallo studio di “Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana”, realizzato dal PIN - Centro Studi Ingegneria di Prato, per conto della Regione Toscana.

Tale studio costituisce “..parte integrante del quadro conoscitivo regionale ...” del Piano di Indirizzo Territoriale (PIT), approvato ai sensi della L.R. n.5/1995 con deliberazione della Giunta Regionale n.12 del 25/12/2000, costituendo (vedi art.83 – Disposizioni Finali della Del. G.R. 868 del 07/08/2000 – Misure di Salvaguardia del PIT (art.11 LR n.5/95) – Indirizzi per l'applicazione – Circolare);punto c)

archivio informatico e programmi di gestione per la "regionalizzazione delle portate di piena" dei corsi d'acqua di cui all'elenco precedente, consistente nella individuazione della portata di piena, in ogni punto di sezione significativo, basata essenzialmente su dati idrologici, associata a diversi tempi di ritorno e nella definizione di una metodologia che consente, alla scala della pianificazione territoriale provinciale, tramite il rilievo di una serie di sezioni geometriche, di individuare l'altezza d'acqua in funzione della portata di piena, nonchè i volumi d'acqua definibili tracciando l'idrogramma sintetico associato;

Dallo studio sono state ricavate le portate al colmo (Q_{max}) di dato tempo di ritorno, presso la sezione sul fiume Merse ad Ornate, e l'idrogramma di piena ricostruito secondo il modello di Nash, del quale si riportano i principali dati.

Lo studio di regionalizzazione delle portate di piena ha riguardato i seguenti parametri:

- input pluviometrico:
 - a, n, m (curva di possibilità pluviometrica del tipo $h = a t^n T^{m-n}$) e K_r (coefficiente di ragguaglio areale delle precipitazioni);
- GIUH (Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico):
 - n (parametro di forma);
 - K (parametro di scala);
- Trasformazione afflussi – deflussi:
 - K_s (caratteristiche di infiltrazione del suolo a saturazione);
 - l_a (perdita iniziale per intercettazione).

9 CONSIDERAZIONE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (Representative Concentration Pathways – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5).



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “proiezione climatica”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“Regional Climate Models”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. “Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

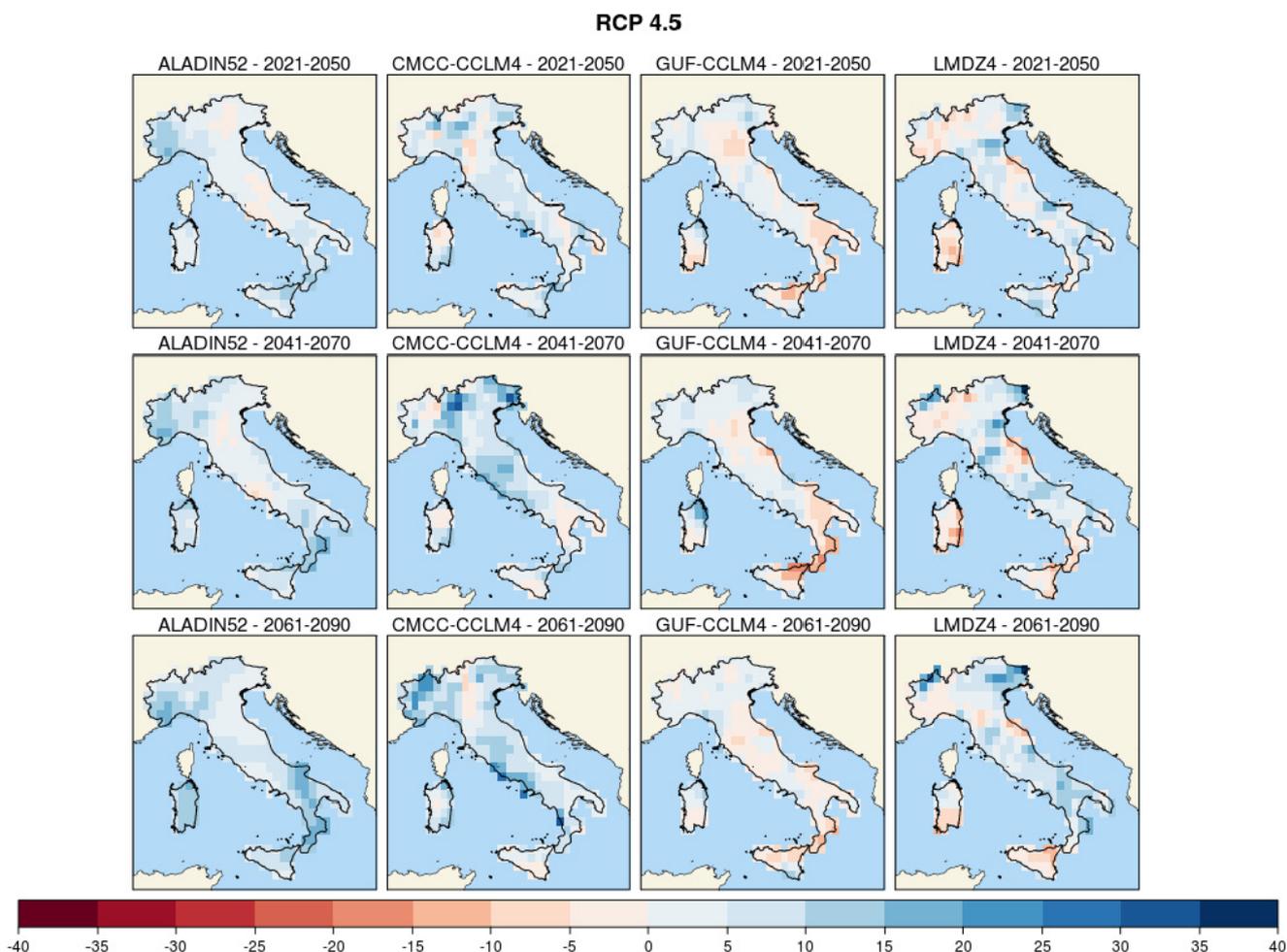


Figura 7 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

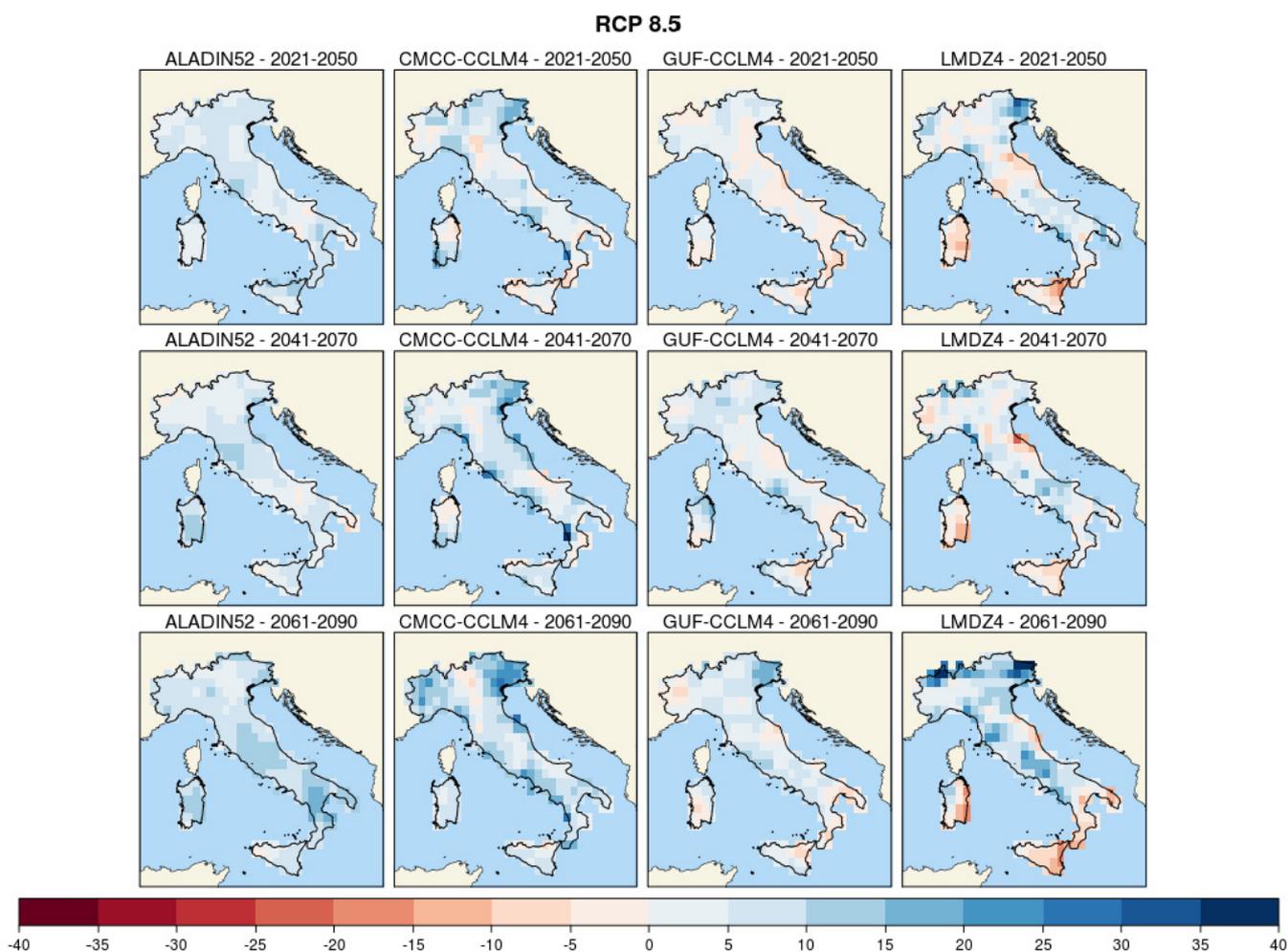


Figura 8 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione $maxh_{24}$ (RCP4.5)	Variazione $maxh_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (ALADIN52)
2041-2070	+0-5 mm (ALADIN52)	+5-10 mm (ALADIN52)
2061-2090	+15-20 mm (ALADIN52)	+20-25 mm (ALADIN52)

Tabella 13 - Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento allo studio idrologico annesso, per l'aria di intervento nel presente progetto, la variazione massima prevista ammonta a +5-15 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle analisi effettuate risultano i seguenti dati di portate al colmo con tempo di ritorno duecentennale:

- analisi della serie storica delle portate registrate dall'idrometro di Ornate:
- $Q_{200} = 1050 \text{ m}^3/\text{s}$
- ricostruzione con il modello di Nash (taratura su evento del novembre del 1966):
- $Q_{200} = 999 \text{ m}^3/\text{s}$
- regionalizzazione delle portate di piena in Toscana, con maggiorazione del 30% (dati Ufficio Regionale della Tutela del Territorio di Siena):
- $Q_{200} = 996 \text{ m}^3/\text{s}$

Per le simulazioni idrauliche del Fiume Merse si è utilizzata come portata di progetto quella dovuta all'analisi della serie storica delle portate registrate dall'idrometro di Ornato in quanto più cautelativa in termini di aree inondabili, velocità delle particelle fluide ed aree di esondazione.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

11 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino della toscana – Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni regione Toscana

GNDCl Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia

Corine Land Cover 2012 IV Livello

Soil Conservation Service, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996) Vito Ferro and Vincenzo Bagarello, Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.