



Comune di Orbetello



# INTERVENTO DI ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURALE DELL'APPRODO DI TALAMONE FINALIZZATO ALLA SUA RIQUALIFICAZIONE IN PORTO TURISTICO

[Domanda di Concessione D.M. ai sensi del D.P.R. 509/1997]

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Proponente



Progettazione



Arch. Vittoria Biego  
Ing. Alberto Marconi

Titolo elaborato

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

Elaborato

A.2315.24 | PFTE | REL

**SII**

Scala

Data

Novembre 2024

Revisione	Data	Preparato	Controllato	Approvato



**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. METODOLOGIA UTILIZZATA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Pluviometria.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Stima delle portate .....</b>	<b>4</b>
<b>4. PARAMETRI SINTETICI.....</b>	<b>4</b>
<b>5. ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI.....</b>	<b>8</b>
<b>6. ANALISI PLUVIOMETRICA A SCALA REGIONALE.....</b>	<b>9</b>
<b>7. DETERMINAZIONE DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI DI PROGETTO.....</b>	<b>10</b>
<b>7.1. Stima del tempo di corrivazione .....</b>	<b>10</b>
<b>7.2. Precipitazioni massime .....</b>	<b>11</b>
<b>8. STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO DI PIENA .....</b>	<b>13</b>
<b>8.1. Modelli di trasformazione afflussi-deflussi .....</b>	<b>13</b>

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce lo Studio idrologico e idraulico del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) dell'intervento di *Adeguamento infrastrutturale dell'approdo di Talamone finalizzato alla sua riqualificazione in porto turistico*, della cui redazione la scrivente Acquatecno è stata incaricata dal Proponente "Associazione consortile Il Molo di Talamone", nell'ambito della presentazione di Domanda di Concessione Demaniale Marittima ai sensi del D.P.R. 509/1997.

Più nel dettaglio, lo sviluppo del presente studio si è reso necessario in quanto gli interventi di cui al presente PFTE interferiscono con il Collettore Occidentale che attualmente sfocia all'interno del bacino portuale.

Lo studio ha consentito la definizione dei caratteri idrologici del bacino idrografico del Collettore Occidentale sotteso alla sua foce, nelle condizioni attuali e di progetto, e del bacino idrografico del fosso di progetto, posto all'interno del porto denominato "Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale".

Lo studio idrologico è articolato nelle seguenti fasi:

- definizione e caratterizzazione dei bacini idrografici mediante l'individuazione dei principali parametri morfologici quali: area, lunghezza dell'asta principale, quote massima, minima e media;
- determinazione degli afflussi meteorici mediante il metodo della regionalizzazione delle precipitazioni della Toscana;
- caratterizzazione dei bacini relativamente ai parametri influenzanti la trasformazione afflussi deflussi quali: la litologia, la pedologia, la copertura e la permeabilità;
- calcolo delle portate di massima piena per diversi tempi di ritorno mediante modelli di trasformazione afflussi-deflussi.

Lo studio idrologico trae spunto dagli studi "Regionalizzazione precipitazioni", nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, per lo sviluppo di attività di ricerca sulla Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana. Lo studio è stato affrontato seguendo anche le indicazioni e i metodi consigliati nelle "Linee guida per la redazione degli studi idrologico-idraulici che accompagnano le richieste di revisione delle aree a rischio idraulico da parte delle Amministrazioni Comunali, ai sensi della Deliberazione del Consiglio Regionale n. 1212/1999" della Regione Toscana Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali Bacino Regionale Toscana Nord".

Le portate di piena sono state determinate per tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni; per il progetto del porto è stato assunto il valore della portata di piena corrispondente alla probabilità di accadimento di 200 anni.

## **2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO**

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati, per il settore specifico, dal “Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni” dei Bacini Regionali Toscana Nord, Toscana costa e Ombrone, di seguito indicato PGRA. Il PGRA, attraverso le sue disposizioni, pone l'obiettivo, agli enti competenti in materia di difesa del suolo, di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

## **3. METODOLOGIA UTILIZZATA**

L'indisponibilità di dati idrologici-idraulici e di osservazioni di eventi di piena nel bacino idrografico del Collettore Occidentale interferente con il porto di Talamone ha reso necessario ricorrere a un metodo regionale di analisi della frequenza di precipitazioni. Questo allo scopo di pervenire alla stima del valore assunto dalla portata di piena, nella sezione di foce del Collettore nelle condizioni attuali e di progetto, e del Fosso della vecchia foce del collettore Occidentale, in corrispondenza del periodo di ritorno stabilito dalla normativa, come riferimento per le verifiche di compatibilità idraulica. Tra i modelli di regionalizzazione disponibili si è ritenuto di adottare quello sviluppato dall'attività “Regionalizzazione precipitazioni”, nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, per lo sviluppo di attività di ricerca sulla Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana.

### **3.1. Pluviometria**

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. 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.

Il primo passo in una procedura di regionalizzazione è l'individuazione di regioni omogenee, all'interno delle quali le grandezze, o meglio le loro distribuzioni di frequenza, hanno alcune caratteristiche comuni. Nell'attività “Regionalizzazione precipitazioni” 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.

Lo studio pluviometrico è articolato nelle fasi seguenti:

- determinazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica e calcolo della pioggia, indice effettuato nell'ambito dell'attività di “Regionalizzazione precipitazioni” della Regione Toscana;

- determinazione delle altezze di pioggia per durata pari al tempo di corrivazione del bacino del Collettore Occidentale oggetto di studio, per i tempi di ritorno pari a 20, 30, 200 e 500 anni, mediante l'applicazione del metodo indicato nell'attività di "Regionalizzazione precipitazioni".

### 3.2. Stima delle portate

In mancanza di misure storiche di portata, la stima delle portate al colmo è stata sviluppata mediante l'applicazione di modelli indiretti, tramite l'applicazione di un modello di trasformazione afflussi–deflussi a partire dalle precipitazioni e sulle caratteristiche fisiografiche dei bacini versanti, secondo le metodologie adottate nell' Allegato 1 "modellistica Ideologico-Idraulica" di A.Benvenuti.

La valutazione delle portate massime al colmo di piena con il modello di trasformazione afflussi–deflussi è stata effettuata adottando, tra i metodi disponibili in letteratura:

- il metodo della corrivazione ed in particolare la formula razionale;
- il metodo CN dell'U.S. Soil Conservation Services per la determinazione del coefficiente di deflusso.

Data la ridotta estensione dei bacini non si è considerato il fattore di riduzione areale, considerando la distribuzione spaziale massima della precipitazione su tutto il bacino. La scelta della portata di progetto è stata effettuata adottando criteri cautelativi confrontando i risultati del presente studio con quelli dello studio adottato attualmente dal Regolamento urbanistico.

## 4. PARAMETRI SINTETICI

Per i bacini in esame sono state, inoltre, ricavate dalla cartografia disponibile (Cartografia regionale in scala 1: 10.000) le caratteristiche morfologiche peculiari quali:

- quota media del bacino  $Z_{med}$ ;
- area del bacino  $A$ ;
- lunghezza del corso d'acqua alla sezione di chiusura  $L$ ;
- pendenza media dei versanti  $I_m$ ;
- quota massima del bacino  $Z_m$ ;
- quota alla sezione di chiusura del bacino s.l.m.  $Z_o$ ;
- dislivello massimo alla sezione di chiusura del bacino  $H_m$ .

Tali caratteristiche, per i bacini in esame nelle condizioni attuali e di progetto, sono riportate nella tabella seguente:

		<b>Collettore Occidentale</b>		<b>Fosso della vecchia foce del collettore occidentale</b>
		<b>attuale</b>	<b>Progetto</b>	<b>Progetto</b>
<b>Quota massima del bacino</b>	m s.l.m.	370.0	370.0	160.0
<b>Quota media del bacino</b>	m s.l.m.	80.0	80.0	71.0
<b>Pendenza media dei versanti</b>	m/m	0.027	0.028	0.073
<b>Area del bacino</b>	km <sup>2</sup>	24.72	24.04	0.86
<b>Lunghezza del corso d'acqua alla sezione di chiusura</b>	Km	13.83	13.36	2.17
<b>Quota alla sezione di chiusura del bacino</b>	m s.l.m.	0.0	0.0	0.0
<b>Dislivello massimo alla sezione di chiusura del bacino</b>	m	370.0	370.0	160.0

Nella si riporta il bacino attuale del Collettore Occidentale sulla CTR 10.000.

Nella figura seguente si riporta il bacino del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto ed il bacino del “Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale” sulla CTR 10.000.

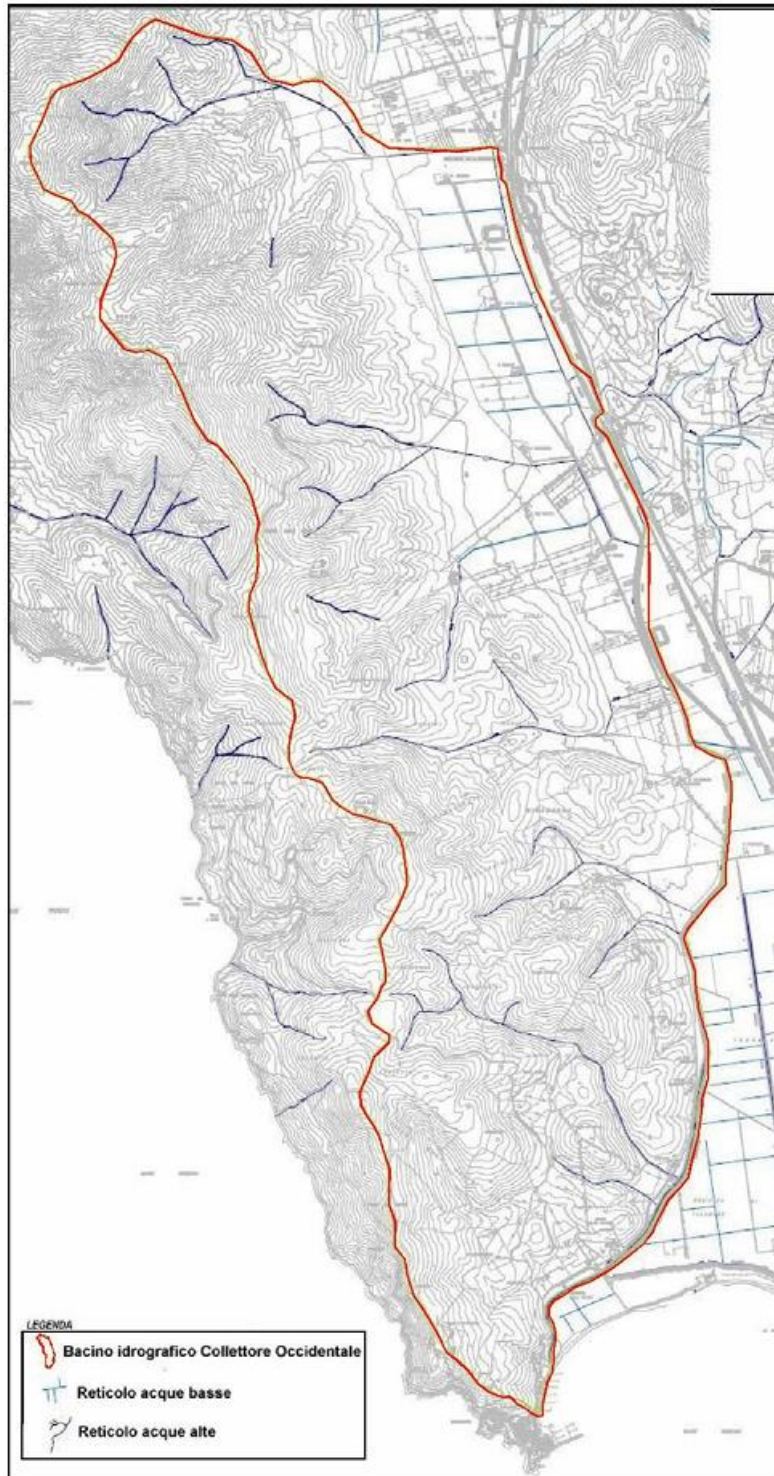
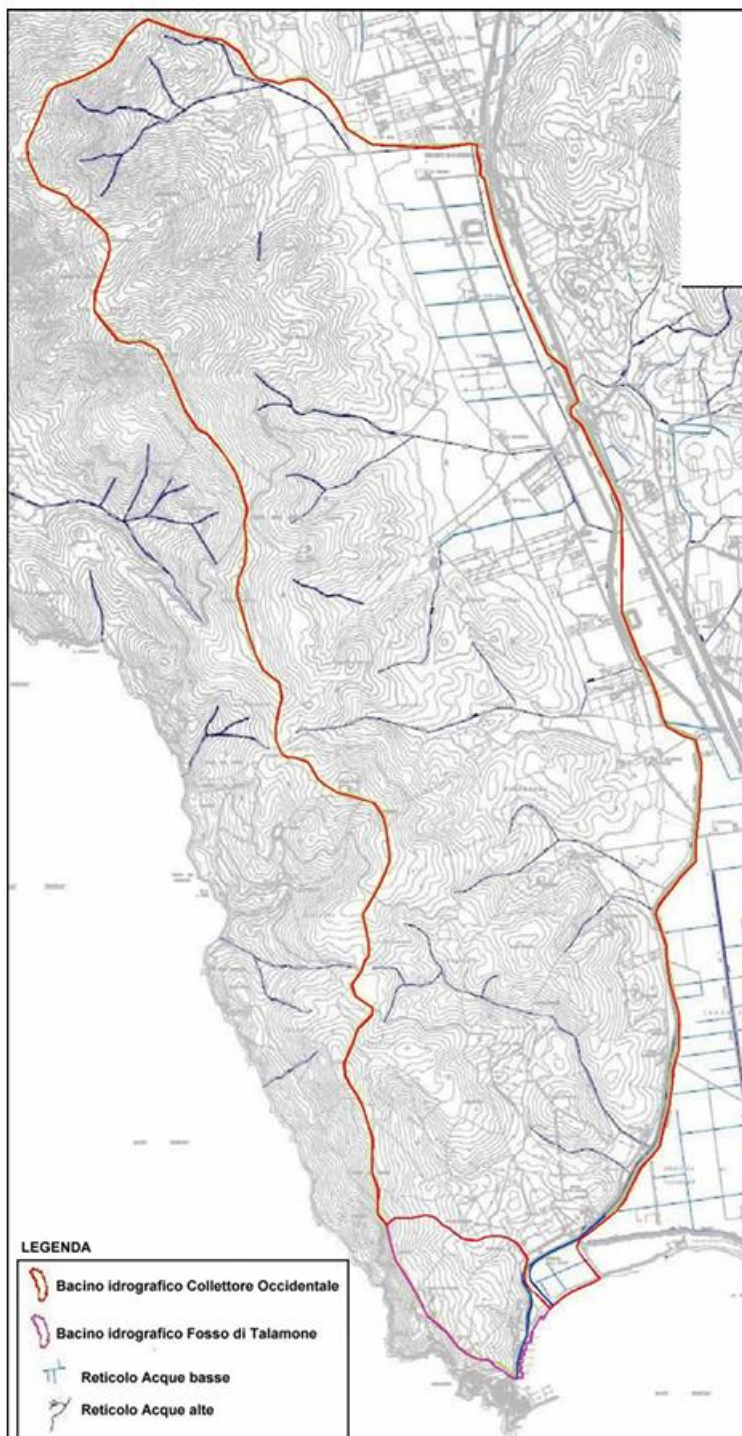


Figura 1. Bacino attuale del Collettore Occidentale su CTR Regione Toscana





**Figura 2. Bacini del Collettore Occidentale e del “Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale” nelle condizioni di progetto su CTR Regione Toscana**

## 5. ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

In questo capitolo si descrive la metodologia utilizzata per l'individuazione dei valori di altezza ed intensità di precipitazione, elaborati su base statistica dalla regione Toscana. La legge probabilistica TCEV è una distribuzione a quattro parametri, composta dal prodotto di due distribuzioni a valori estremi del I tipo (EV1) e la sua funzione di probabilità cumulata (CDF - Cumulative Distribution Function) è data da:

$$F_x(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left( -\frac{x}{\theta_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left( -\frac{x}{\theta_2} \right) \right\} \quad \text{per } x \geq 0$$

nella quale i parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  (con  $\Lambda_1 > \Lambda_2 > 0$ ) rappresentano il numero medio annuo di eventi relativi rispettivamente alla componente di base e alla componente eccezionale, mentre i parametri  $\theta_1$  e  $\theta_2$  (con  $\theta_2 > \theta_1 > 0$ ) rappresentano il rispettivo valore medio di tali eventi. Al primo livello di regionalizzazione si individuano una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico  $G$  e conseguentemente i parametri della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta  $y$ , dove i parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  sono definiti come:

$$\theta^* = \theta_2 / \theta_1 \quad \text{e} \quad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{\theta^*}$$

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre al coefficiente di asimmetria teorico, anche il coefficiente di variazione teorico  $C_v$  e quindi anche il parametro  $\Lambda_1$  della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta  $y$ .

In questo modo la distribuzione di probabilità della variabile adimensionale  $x'$ , e dunque anche il fattore di crescita  $x'(F) = KT$ , risultano costanti in ogni sottozona omogenea. L'estensione della sottozona, in caso di elevata omogeneità dei dati, può coincidere con quella della zona omogenea che la contiene.

Al terzo livello di regionalizzazione si individuano infine delle aree omogenee all'interno delle quali si ricercano delle relazioni tra la pioggia indice e le caratteristiche geografiche del sito. 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 subregioni. 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.

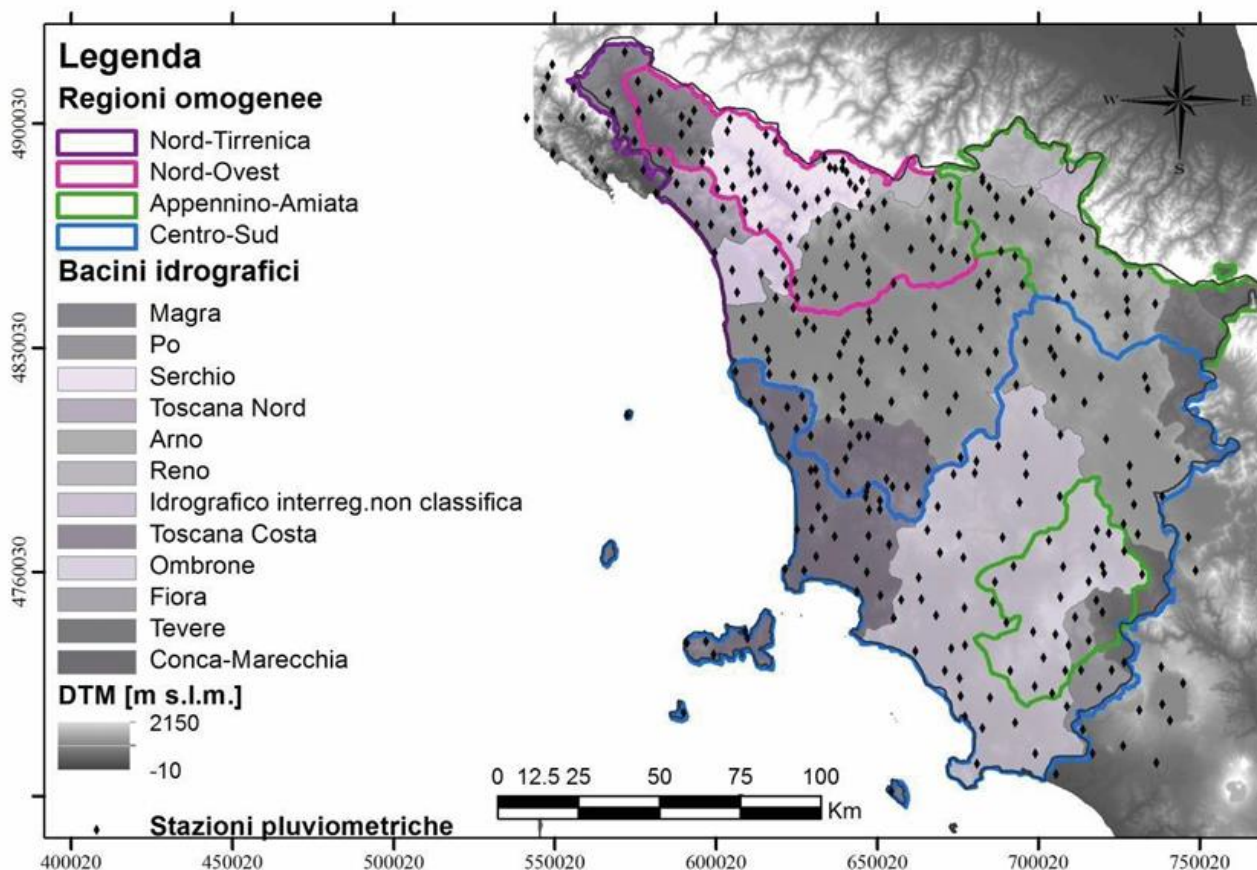


Figura 3. Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata 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:

$$(1) h(t) = a t^n$$

ove: 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 stato possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n.

## 6. ANALISI PLUVIOMETRICA A SCALA REGIONALE

Per calcolare in un punto l'altezza di pioggia, una volta scelto il tempo di ritorno e note le coordinate nel sistema Gauss Boaga del punto, si trovano i valori dei parametri caratteristici a e n della LSPP nella cella nella quale il punto ricade. Una volta fissato il tempo t della durata dell'evento è possibile trovare l'altezza di pioggia tramite la relazione (1).

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero. 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  $t=t_c$  (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 (1): con  $t = t_c =$  tempo di corrivazione [ore]. 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.

## 7. DETERMINAZIONE DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

Sulla base della metodologia di analisi pluviometrica esposta si procede nel seguito alla determinazione delle massime precipitazioni con tempo di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni sui bacini idrografici. Per tale determinazione occorre innanzitutto stabilire la durata dell'evento pluviometrico critico del bacino idrografico di interesse, quindi applicare le formule della regionalizzazione delle piogge in Toscana.

A tale fine si è assunto, come ampiamente consolidato in letteratura, che la durata della precipitazione critica sul bacino coincida con il tempo di corrivazione del bacino stesso. Nel seguito, pertanto se ne procede alla stima.

### 7.1. Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, inteso quale tempo intercorrente fra l'inizio della pioggia efficace (cioè che dà luogo ai deflussi superficiali) ed il colmo della piena, ritenuto uguale al tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura, costituisce un parametro del modello indipendente dalla portata e dal tempo. Tale parametro risulta di difficile determinazione; nella letteratura tecnica vengono riportate numerose formulazioni empiriche, tutte legate alle caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino, ma comunque valide per lo specifico campo di applicabilità. Tra le formule più comunemente usate si sono adottate quelle di Giandotti, Ventura, Pezzoli, Viparelli e Kirpich.

Di seguito vengono riportate le diverse formulazioni:

Giandotti 
$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{A + 1.5 \times L}}{0.8 \times \sqrt{H_m}} \quad (\text{ore}) \quad \text{per } 170 \text{ km}^2 \leq A \leq 70.000 \text{ km}^2$$

Ventura 
$$t_c = 0.0167 \times 7,63 \times \sqrt{\frac{A}{I_m}} \quad (\text{ore})$$

$$\text{Pezzoli} \quad tc = \frac{0,055 \times L}{I_m^{0,50}} \quad (\text{ore})$$

$$\text{Viparelli} \quad tc = 0,278 \frac{L}{V} \quad (\text{ore})$$

$$\text{Kirpich} \quad tc = \frac{0,0651 \times L^{0,77}}{I_m^{0,385}} \quad (\text{ore}) \quad \text{per } 0,005 \text{ km}^2 \leq A \leq 0,45 \text{ km}^2$$

Dove:

- $A$  è l'area del bacino ( $\text{km}^2$ )
- $L$  è la lunghezza dell'asta principale (km)
- $H_m$  è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)
- $I_m$  è la pendenza media dell'asta, ovvero il rapporto tra l'altezza rispetto alla sezione di chiusura del punto più elevato del bacino e la lunghezza dell'asta principale  $L$ ;
- $V$  è la velocità media di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica (compresa fra 1 e 1,5 m/s).

Nel presente progetto, per il Collettore Occidentale si è utilizzata la formulazione di Viparelli più adatta a bacini di area di circa  $25,0 \text{ km}^2$ , risultando:

- per il Collettore Occidentale nelle condizioni attuali

$$tc = 0,278 \times 13,83 / 1,15 = 3.34 \text{ (ore)}$$

Valore simile a quello determinato nello studio di riferimento.

- per il Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto

$$tc = 0,278 \times 13,83 / 1,15 = 3.23 \text{ (ore)}$$

- per il Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto utilizzando la formula di Pezzoli e la formula di Ventura si ottiene in entrambi i casi  $tc = 0,44$  ore; adottando la formulazione di Viparelli, con una velocità media di scorrimento dell'acqua nella rete idrografica di 1,4 m/s si ottiene:  $tc = 0,278 \times 2,17 / 1,40 = 0.43$  (ore).

## 7.2. Precipitazioni massime

Una volta determinata la durata della pioggia critica sui vari bacini, assunta pari al tempo di corrivazione, si può procedere alla stima delle altezze massime di precipitazione sui bacini ai diversi tempi di ritorno applicando le formule della regionalizzazione delle piogge in Toscana.

Allo scopo sono stati utilizzati i parametri a e n determinati in scala regionale sulla maglia 1x1 km ricadente all'interno del bacino. È stata individuata l'altezza di pioggia relativa al tempo di corrivazione  $t_c$  di ogni maglia per tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni mediante la relazione:

$$h = a t^n \text{ per } t \geq 1 \text{ ora}$$

$$h = h_1 t^{0,450} \text{ per } t < 1 \text{ ora}$$

dove  $h_1$  è il valore dell'altezza di pioggia per  $t=1$  ora.

Infatti, per quanto attiene la determinazione dell'altezza di pioggia per durate inferiori all'ora è stato dimostrato (Bell, 1969) che il rapporto fra l'altezza di pioggia  $h(t,T)$ , con  $t$

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

in cui  $t$  risulta espresso in minuti.

Il dato più interessante che se ne trae è che il rapporto risulta poco dipendente dalla località. La relazione è stata inoltre confermata anche per vasti territori dell'Australia e dell'Africa. Più recentemente, autori italiani hanno sperimentato la validità della relazione dinanzi citata calcolando i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue, di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno. In particolare (Calenda e altri, 1993) sono stati ottenuti al pluviometro registratore di Roma Macao i seguenti rapporti:

<b>d(min)</b>	<b>5'</b>	<b>10'</b>	<b>15'</b>	<b>20'</b>	<b>25'</b>	<b>30'</b>
$r = h_{(d)}/h_1$	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

La funzione esponenziale che meglio approssima i valori ottenuti da Calenda e altri 1993 per la stazione di Roma Macao è rappresentata dalla:

$$r = \frac{h}{h_{60}} = (d)^{0,450}$$

essendo  $d$  la durata in ore. Infine si è determinato il valore medio dell'altezza di precipitazione sul bacino per diversi tempi di ritorno. È risultato:

- per il Collettore Occidentale nelle condizioni attuali:
  - per  $Tr=20$  anni  $h_{tc}=75.66$
  - per  $Tr=30$  anni  $h_{tc}=83.93$

- per  $Tr=200$  anni  $htc=126.03$
- per  $Tr=500$  anni  $htc=147.25$
- per il Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto:
  - $Tr=20$  anni  $htc=74.88$
  - per  $Tr=30$  anni  $htc=83.01$
  - per  $Tr=200$  anni  $htc=124.39$
  - per  $Tr=500$  anni  $htc=145.27$
- per il Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto:
  - per  $Tr=20$  anni  $htc=34.49$
  - per  $Tr=30$  anni  $htc=38.53$
  - per  $Tr=200$  anni  $htc=53.59$
  - per  $Tr=500$  anni  $htc=61.58$

## 8. STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO DI PIENA

Per la stima della massima portata al colmo di piena è stata seguita la metodologia dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi.

### 8.1. Modelli di trasformazione afflussi-deflussi

In conformità ai criteri indicati nell' Allegato 1 "Modellistica Ideologico-Idraulica" dello Studio di riferimento nonché nelle "Linee guida per la redazione degli studi idrologico-idraulici", che accompagnano le richieste di revisione delle aree a rischio idraulico da parte delle Amministrazioni Comunali ai sensi della Deliberazione del Consiglio Regionale n. 1212/1999" della Regione Toscana Bacino Regionale Toscana Nord, per la stima delle portate massime al colmo di piena, si è adottato il metodo della corrivazione ed in particolare la formula razionale.

#### Metodo della corrivazione – formula razionale

Il metodo razionale costituisce una schematizzazione del fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino. Di seguito si riassumono sinteticamente le principali ipotesi su cui fonda.

Si ipotizza che il bacino fornisca una risposta di tipo lineare tra le piogge in ingresso e la portata defluente dalla sezione di chiusura. Come accennato in precedenza il metodo adottato introduce l'ipotesi semplificativa secondo cui la precipitazione critica abbia una durata pari al tempo di corrivazione e sia distribuita in maniera uniforme sull'intero bacino. Il pluviogramma risulta pertanto di forma rettangolare, caratterizzato da

un'intensità di pioggia costante, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica adottata in corrispondenza del tempo di corrivazione del bacino.

L'altezza di pioggia introdotta nei calcoli è quella netta o "efficace", cioè quella che dà luogo a scorrimento superficiale e quindi al deflusso; la pioggia reale viene quindi depurata della quota di pioggia caduta tra il momento d'inizio della precipitazione e quello di inizio dello scorrimento superficiale:

$$P_n(d,T) = \varphi(d,T) h_{dT} \quad \text{con } 0 \leq \varphi \leq 1$$

Dove  $\varphi$  rappresenta il coefficiente che tiene conto delle perdite e prende il nome di coefficiente di deflusso.

Tali perdite, e quindi il coefficiente di deflusso, sono funzione, oltre che delle caratteristiche genericamente permanenti del terreno e della copertura vegetale, anche del grado di saturazione iniziale del bacino e dell'intensità di precipitazione.

L'assunzione di un tempo di esaurimento pari al tempo di corrivazione, equivalente all'adozione di un idrogramma di forma triangolare, si traduce nell'ipotesi cautelativa di una rete di drenaggio a rapido svuotamento.

Il metodo è articolato nelle seguenti fasi:

- determinazione dell'istogramma di progetto;
- determinazione della pioggia netta.

Le portate di massima piena sono state valutate nell'ipotesi di piogge critiche con tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni. La massima portata al colmo di piena, in funzione dei parametri morfometrici del bacino e della pioggia che genera la piena, si ottiene mediante la seguente espressione, che costituisce una semplice forma di bilancio idrologico:

$$Q_c = A \frac{P_n}{3,6 t_c}$$

Dove

- $Q_c$  è il valore della massima portata al colmo ( $m^3/s$ );
- $t_c$  è il tempo di corrivazione (ore) (vedi paragrafo precedente);
- $P_n(t_c, T_r)$  è l'altezza di pioggia netta (mm), corrispondente alla durata pari al tempo di corrivazione ( $t_c$ ), dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica di tempo di ritorno assegnato ( $T_r$ );
- $A$  è l'area del bacino ( $km^2$ ).



### Metodo del Curve Number

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume della piena, può essere effettuato in base al metodo del Curve Number (CN), formulato dal Soil Conservation Service (SCS) nel 1972, nel seguito brevemente descritto. Tale metodo mette in relazione l'altezza  $h_a$  di pioggia areale affluita con l'altezza di pioggia  $P_n$  defluita in rete, attraverso la seguente formula:

$$P_n = \varphi h_a = (h_a - 5.08 * S')^2 / (h_a + 20.32 * S')$$

In questo caso il coefficiente di deflusso è espresso in funzione:

- della pioggia areale affluita  $h_a$ ;
- della massima ritenzione del bacino  $S'$ .

La massima ritenzione del bacino  $S'$  è funzione a sua volta del tipo di terreno, del suo grado di saturazione e dell'uso del suolo. Secondo il metodo del CN del U.S. SCS, per opportuni valori dell'intensità della precipitazione, esso viene espresso sotto la forma:

$$S' = (1000/CN) - 10$$

Il CN o "Runoff Number" è quel coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino che sono state classificate dallo U.S. Soil Conservation Service. Per determinare il valore del CN occorre stabilire prima di tutto la classe di appartenenza del suolo, il tipo di copertura, quale è la destinazione d'uso del suolo e, infine, le sue condizioni idrauliche. Il metodo del SCS è basato su un sistema di classificazione del suolo in quattro classi di permeabilità individuate dalle lettere A,B,C,D, (vedi tabella seguente).

**Tabella 1. Classificazione del suolo secondo l'U.S. SCS**

Gruppo	Descrizione
<b>A</b>	<b>Scarsa potenzialità di deflusso.</b>
	Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde molto permeabili.
<b>B</b>	<b>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa .</b>
	Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
<b>C</b>	<b>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</b>
	Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. dei suoli
<b>D</b>	<b>Potenzialità di deflusso molto alta.</b>
	Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza dalla superficie.

Il valore del CN varia a seconda dell'utilizzo e della gestione del suolo, poiché ciascun tipo di terreno può essere caratterizzato da un diverso grado di sfruttamento: basso, medio, alto. Nel caso di terreni variegati possono essere identificate le categorie fondamentali per definire un cosiddetto coefficiente CN pesato.

Inoltre, in funzione dell'umidità del suolo precedente all'inizio dell'evento (Antecedent moisture condition AMC), si possono avere le seguenti condizioni:

- suolo asciutto (AMC I);
- suolo in condizione di umidità media (AMC II);
- suolo completamente saturo (AMC III).

Per condizioni antecedenti all'evento molto umide (AMC III) o molto asciutte (AMC I) viene consigliata dallo stesso SCS la seguente tabella di conversione rispetto alla condizione standard di umidità media del terreno (AMC II).

**Tabella 2. Metodo del Curve Number: Tabella di conversione per diverse condizioni di saturazione**

Classe AMC			Classe AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

I valori del CN consigliati dal U.S. SCS per la condizione standard di umidità media del terreno (AMC II) sono riportate nella tabella seguente.

**Tabella 3. Indice CN (Curve Number) per vari tipi di uso del suolo per la condizione AMC II**

Tipo di copertura (uso del suolo):	Tipi di suolo			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>Terreno da pascolo</b>				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
<b>Praterie</b>				
buone condizioni	30	58	71	78
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
buone condizioni con almeno il 75% con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<b>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (impermeabilità. 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</b>	98	98	98	98
<b>Aree residenziali</b>				
Impermeabilità media 65%	77	85	90	92
Impermeabilità media 38%	61	75	83	87
Impermeabilità media 30%	57	72	81	86
Impermeabilità media 25%	54	70	80	85
Impermeabilità media 20%	51	68	79	84
<b>Strade</b>				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Nel caso in esame dovendo stimare le portate di piena al colmo si farà riferimento alle sole condizioni di saturazione massime (AMC III) che forniscono valori di CN più elevati e quindi più cautelativi. La conversione è stata eseguita mediante l'espressione interpolare:

$$CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 \times CN(II)}$$

Con riferimento alla Carta litologica ed alla carta uso del suolo del bacino riportate nelle figure successive sono state individuate le aree caratterizzate da diversi valori di CN(II).

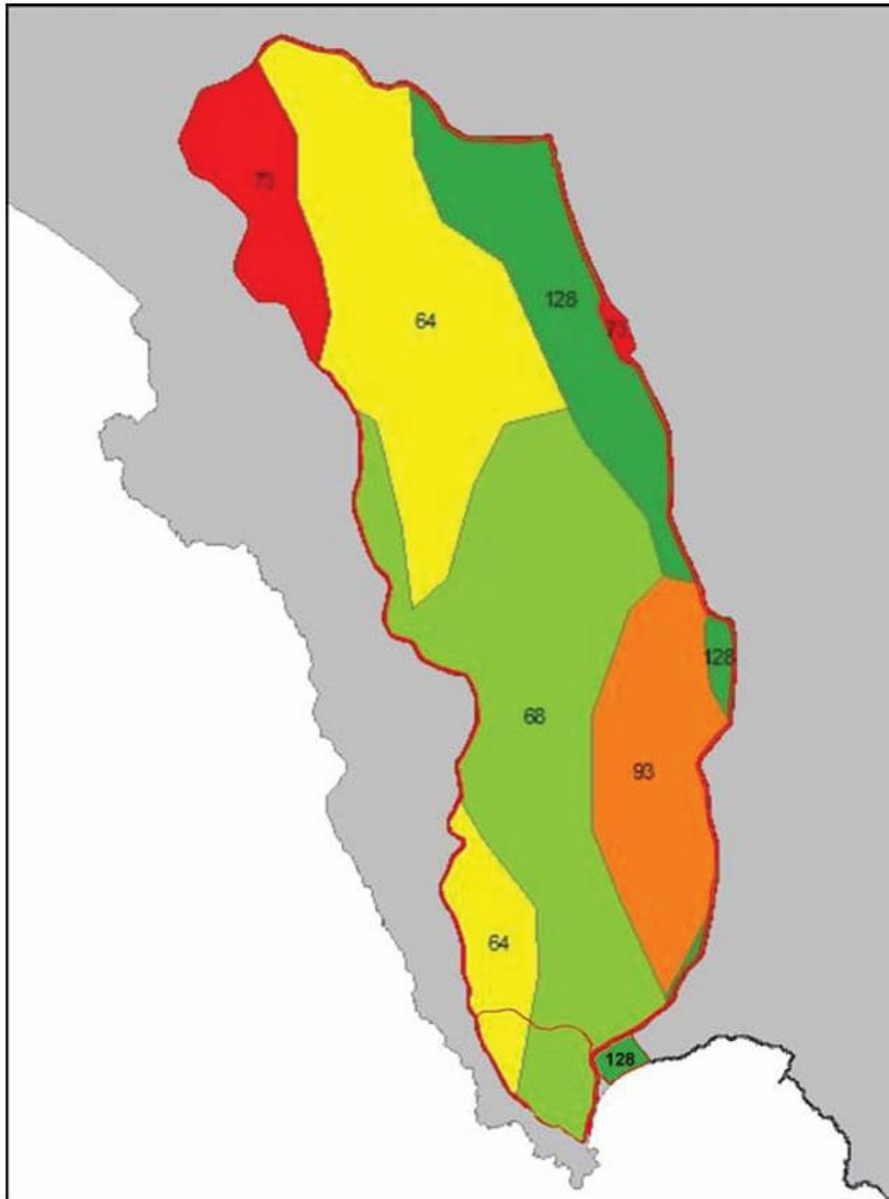


Figura 4. Carta litologica

**Tabella 4. Legenda carta litologica**

<input checked="" type="checkbox"/>	Litologia Collettore
<input type="checkbox"/>	<all other values>
	DESCR_NE
<input type="checkbox"/>	Calcarei e calcari dolomitici neritici e di piattaforma (Triassico supe
<input type="checkbox"/>	Calcarei e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico)
<input type="checkbox"/>	Depositi clastici conglomeratico-arenacei (Triassico superiore-medio)
<input type="checkbox"/>	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali (Oloce
<input type="checkbox"/>	Unita' calcareo-marnose (torbiditi) (Paleogene)

CODICE	DESCRIZIONE
73	Calcarei e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico)
64	Depositi clastici conglomeratico-arenacei (Triassico superiore-medio)
128	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali (Olocene)
73	Calcarei e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico)
68	Calcarei e calcari dolomitici neritici e di piattaforma (Triassico superiore)
93	Unita' calcareo-marnose (torbiditi) (Paleogene)
64	Depositi clastici conglomeratico-arenacei (Triassico superiore-medio)

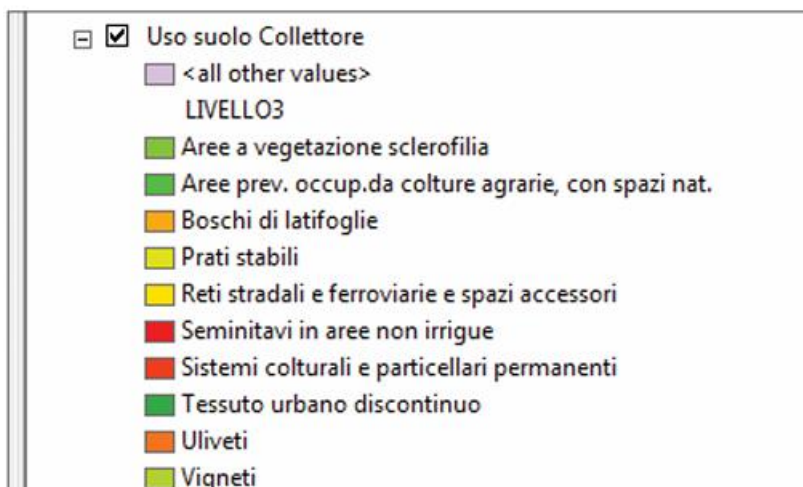
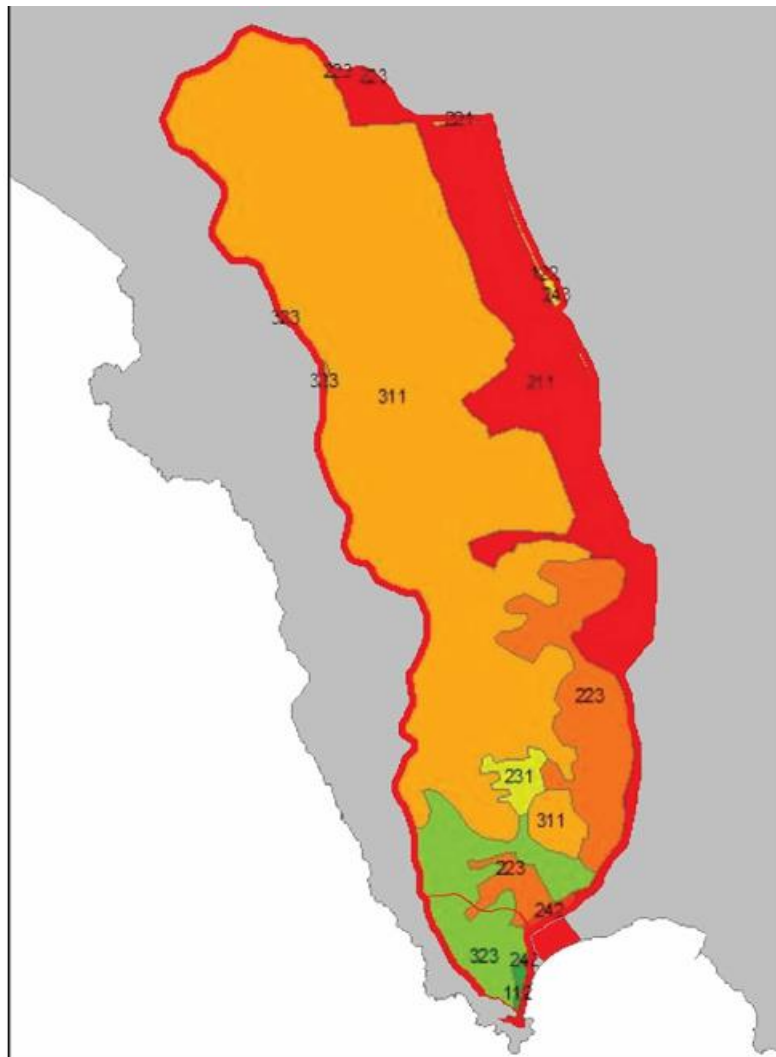


Figura 5. Carta uso del suolo

**Tabella 5. Legenda carta uso del suolo**

CODE_00	LIVELLO1	LIVELLO2	LIVELLO3
211	Territori agricoli	Seminativi	Seminativi in aree non irrigue
122	Territori modellati artificialmente	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
221	Territori agricoli	Colture permanenti	Vigneti
223	Territori agricoli	Colture permanenti	Uliveti
311	Territori boscati e ambienti semi naturali	Zone boscate	Boschi di latifoglie
323	Territori boscati e ambienti semi naturali	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	Aree a vegetazione sclerofilia
243	Territori agricoli	Zone agricole eterogenee	Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.
223	Territori agricoli	Colture permanenti	Uliveti
323	Territori boscati e ambienti semi naturali	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	Aree a vegetazione sclerofilia
231	Territori agricoli	Prati stabili	Prati stabili
311	Territori boscati e ambienti semi naturali	Zone boscate	Boschi di latifoglie
223	Territori agricoli	Colture permanenti	Uliveti
242	Territori agricoli	Zone agricole eterogenee	Sistemi colturali e particellari permanenti
112	Territori modellati artificialmente	Zone urbanizzate	Tessuto urbano discontinuo

Il valore adottato per il singolo bacino è stato determinato con il criterio della media pesata, i cui pesi sono costituiti dalle superfici; tale valore è stato successivamente convertito in CN(III) mediante l'equazione (7). E' risultato:

- per il bacino del Collettore Occidentale nelle condizioni attuali un valore medio pesato di CN(II) di 64,37 e di conseguenza un valore del CN(III) determinato con la (7) di 80,60;
- per il bacino del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto un valore medio pesato di CN(II) di 65,74 e di conseguenza un valore del CN(III) determinato con la (7) di 81,53;

- per il bacino del “Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale” un valore medio pesato di CN(II) di 66,00 e di conseguenza un valore del CN(III) determinato con la (7) di 81,70.

### Pioggia netta

Le altezze di pioggia nette ottenute mediante l'utilizzazione dei coefficienti CN III per i diversi tempi di ritorno risultano:

- per il Collettore Occidentale nelle condizioni attuali pari a:
  - per  $Tr=20$  anni  $P_{n,T}=32.33$
  - per  $Tr=30$  anni  $P_{n,T}=38.73$
  - per  $Tr=200$  anni  $P_{n,T}=74.08$
  - per  $Tr=500$  anni  $P_{n,T}=93.01$

di conseguenza i valori del coefficiente di deflusso  $\varphi=P_{n,T}/ha$  adottati sono:

- per  $Tr=20$  anni  $\varphi,T=0,43$
  - per  $Tr=30$  anni  $\varphi,T=0,46$
  - per  $Tr=200$  anni  $\varphi,T=0,59$
  - per  $Tr=500$  anni  $\varphi,T=0,63$
- per il Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto pari a:
    - per  $Tr=20$  anni  $P_{n,T}=31.83$
    - per  $Tr=30$  anni  $P_{n,T}=38.12$
    - per  $Tr=200$  anni  $P_{n,T}=72.77$
    - per  $Tr=500$  anni  $P_{n,T}=91.35$

di conseguenza i valori del coefficiente di deflusso  $\varphi=P_{n,T}/ha$  adottati. sono:

- per  $Tr=20$  anni  $\varphi,T=0,43$
  - per  $Tr=30$  anni  $\varphi,T=0,46$
  - per  $Tr=200$  anni  $\varphi,T=0,59$
  - per  $Tr=500$  anni  $\varphi,T=0,63$
- per il Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto pari a
    - per  $Tr=20$  anni  $P_{n,T}=7.18$



- per  $Tr=30$  anni  $P_n, T = 8.77$
- -per  $Tr=200$  anni  $P_n, T = 17.98$
- per  $Tr=500$  anni  $P_n, T = 23.53$

di conseguenza i valori del coefficiente di deflusso  $=P_n/ha$  adottati sono:

- per  $Tr=20$  anni  $\varphi, T = 0,20$
- per  $Tr=30$  anni  $\varphi, T = 0,23$
- per  $Tr=200$  anni  $\varphi, T = 0,34$
- per  $Tr=500$  anni  $\varphi, T = 0,38$

#### Stima delle portate di massima piena

Utilizzando l'espressione (4) con i valori dei diversi parametri precedentemente stimati si sono determinate le portate di piena al colmo per i tempi di ritorno prefissati:

- per il Collettore Occidentale nelle condizioni attuali:
  - per  $Tr=20$  anni  $Q = 66,39$
  - per  $Tr=30$  anni  $Q = 79,55$
  - per  $Tr=200$  anni  $Q = 152,16$
  - per  $Tr=500$  anni  $Q = 191,02$
- i valori del coefficiente udometrico  $U$  per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:
  - per  $Tr=20$  anni  $UT = 2,69$
  - per  $Tr=30$  anni  $UT = 3,22$
  - per  $Tr=200$  anni  $UT = 6,16$
  - per  $Tr=500$  anni  $UT = 7,73$
- per il Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto:
  - per  $Tr=20$  anni  $Q = 65,82$
  - per  $Tr=30$  anni  $Q = 78,82$
  - per  $Tr=200$  anni  $Q = 150,47$
  - per  $Tr=500$  anni  $Q = 188,88$

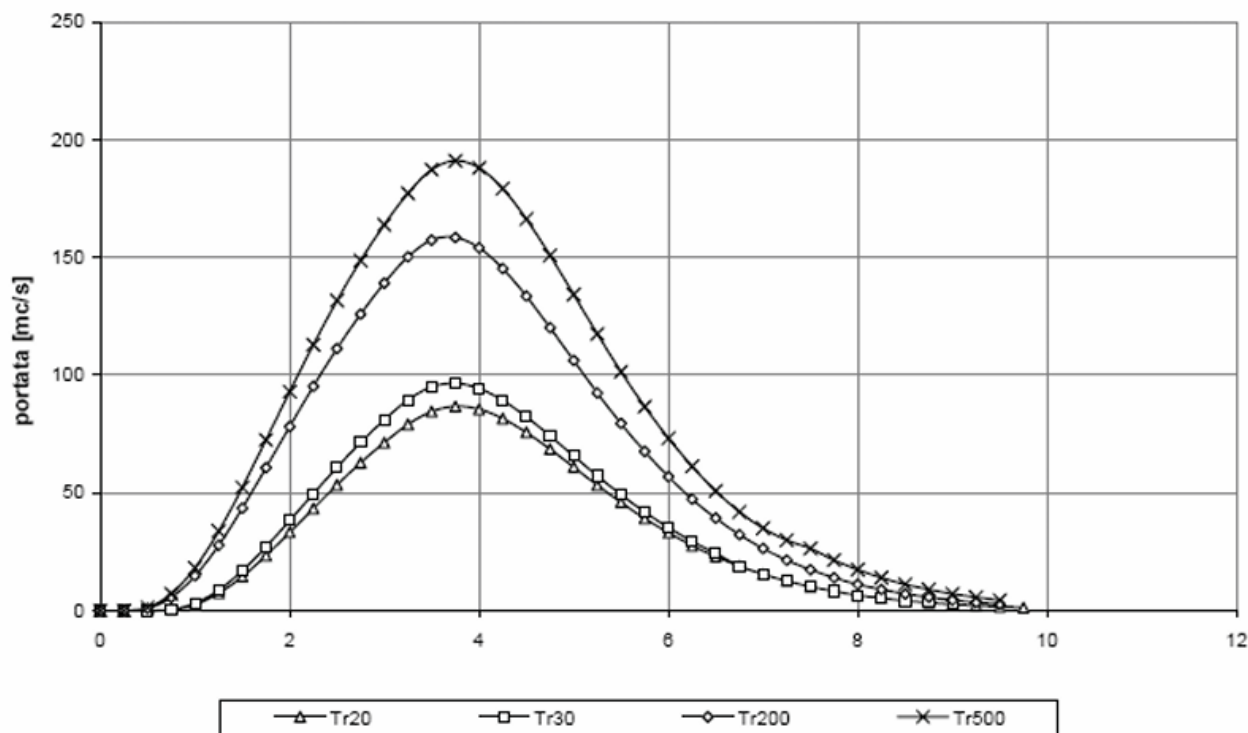
- i valori del coefficiente udometrico  $U$  per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:
  - per  $Tr=20$  anni  $UT = 2,74$
  - per  $Tr=30$  anni  $UT = 3,28$
  - per  $Tr=200$  anni  $UT = 6,26$
  - per  $Tr=500$  anni  $UT = 7,86$
- per il Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale nelle condizioni di progetto:
  - per  $Tr=20$  anni  $Q = 3,94$  m<sup>3</sup>/s
  - per  $Tr=30$  anni  $Q = 4,82$  m<sup>3</sup>/s
  - per  $Tr=200$  anni  $Q = 9,87$  m<sup>3</sup>/s
  - per  $Tr=500$  anni  $Q = 12,92$  m<sup>3</sup>/s
- i valori del coefficiente udometrico  $U$  per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:
  - per  $Tr=20$  anni  $UT = 4,63$
  - per  $Tr=30$  anni  $UT = 5,65$
  - per  $Tr=200$  anni  $UT = 11,59$
  - per  $Tr=500$  anni  $UT = 15,17$ .

#### Portate di progetto

I valori della portata di massima piena così ottenuta, per il Collettore Occidentale nelle condizioni attuali e di progetto per i diversi tempi di ritorno sono stati confrontati con quelli ottenuti nelle condizioni attuali nello “Studio Indagini ideologico idrauliche di supporto al regolamento urbanistico del Comune di Orbetello ai sensi del regolamento di attuazione n. 26/R dell’art. 62 della legge regionale 1/2005” di A. Benvenuti 2011 di seguito riportati:

- per  $Tr=20$  anni  $Q = 86,8$
- per  $Tr=30$  anni  $Q = 96,53$
- per  $Tr=200$  anni  $Q = 158,50$
- per  $Tr=500$  anni  $Q = 191,09$

Considerato che i valori delle portate di massima piena ottenute nelle condizioni di progetto nel presente studio risultano pari al 99% circa di quelle attuali, e che le portate di massima piena nelle condizioni attuali risultano minori di quelle ottenute da A. Benvenuti nel 2011 nelle condizioni attuali, i valori ottenuti da Benvenuti nel 2011 possono considerarsi valori cautelativi sia per le condizioni attuali che per quelle di progetto. Si evidenzia, inoltre, che le portate di massima piena ottenute da Benvenuti nel 2011 sono attualmente adottati nel Regolamento urbanistico del Comune di Orbetello. Pertanto, in seguito, si adottano i valori delle portate di progetto del Collettore Occidentale per tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni ottenute da A. Benvenuti nel 2011. Nella figura seguente si riportano gli idrogrammi di piena del Collettore Occidentale determinati da Benvenuti nel 2011.



**Figura 6. Idrogrammi di piena del Collettore Occidentale A. Benvenuti nel 2011**

Per il Fosso della vecchia foce del Collettore Occidentale si sono considerate come portate di progetto le portate ideologiche sopra determinate, ovvero:

- per Tr=20 anni  $Q = 3,94 \text{ m}^3/\text{s}$
- per Tr=30 anni  $Q = 4,82 \text{ m}^3/\text{s}$
- per Tr=200 anni  $Q = 9,87 \text{ m}^3/\text{s}$
- per Tr=500 anni  $Q = 12,92 \text{ m}^3/\text{s}$ .