

**S.S. 398 "Via Val di Cornia"**  
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12  
e il Porto di Piombino  
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI2**

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 GRUPPO DI PROGETTAZIONE:  
MANDATARIA:

 Sintagma

 GEOTECHNICAL DESIGN GROUP

 ICARIA  
società di ingegneria

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

Dott. Ing. D. Carlacchini  
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

IL PROGETTISTA:  
Dott. Ing. Vladimiro Rotisciani  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A376

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

IL R.U.P.  
Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:  
Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019



**IDROLOGIA ED IDRAULICA**

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00-ID00-IDR-RE01

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPFI12 E 1801

CODICE ELAB. T00ID00IDRRE01

A

-

<b>A</b>	Emissione	29/03/2019	F. Macchioni	V. Rotisciani	N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
2.1	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	3
2.2	PIANIFICAZIONE TERRITORIALE – PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	4
2.3	GEOLOGIA ED IDROGRAFIA.....	10
2.4	INTERFERENZE IDRAULICHE.....	12
2.5	CARATTERIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI.....	13
3	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO .....	21
3.1	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	26
3.2	CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA PUNTUALE .....	33
3.3	RAGGUAGLIO DELLE PIOGGE ALL'AREA.....	34
3.4	CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA.....	35
3.5	CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO .....	35

## 1 PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi alle interferenze con il reticolo idrografico di superficie degli assi stradali in progetto nell'ambito dell'intervento denominato "SS. 398 Via Val di Cornia - Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino - LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno".

Oggetto dello studio è la definizione di valori di colmo delle massime portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario sia al corretto dimensionamento delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino.

Nella presente relazione viene fornita una prima caratterizzazione idrologica-idraulica dell'area di interesse e vengono individuate le principali problematiche legate all'interazione tra l'infrastruttura e il sistema delle acque superficiali.

In particolare vengono affrontati i seguenti punti:

- ✓ inquadramento dello stato di attuazione della Pianificazione di Assetto Idrogeologico nell'area di intervento;
- ✓ caratterizzazione dell'area e individuazione delle principali problematiche dal punto di vista idrologico e idraulico;
- ✓ individuazione dei principali bacini idrografici interagenti con l'opera di progetto e loro caratterizzazione idrologica e morfometrica;
- ✓ acquisizione ed elaborazione dei dati di pioggia esistenti. Lo studio e le elaborazioni dei dati consentono di associare, in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, una corretta valutazione dell'evento meteorico generatore della portata di dimensionamento;
- ✓ determinazione delle curve di possibilità pluviometrica aventi pertinenza sulla zona in esame, necessarie per la stima, note le caratteristiche dei bacini idrografici scolanti, delle portate massime da utilizzare nello studio idraulico
- ✓ delineazione dello studio idrologico finalizzato alla determinazione delle portate massime attese con diversi tempi di ritorno in corrispondenza degli attraversamenti principali e secondari.

Lo studio idrologico è stato svolto in ottemperanza a quanto riportato 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.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

La variante per l'asta principale prevede il passaggio da una strada Urbana di scorrimento (tipo D secondo il DM 05/11/2001) a una tipo B "Extraurbana principale", l'infrastruttura presenta una piattaforma pavimentata di larghezza minima pari a 22,00 m (oltre allargamenti della stessa per motivi di visibilità), prevalentemente in rilevato; in dettaglio, la sezione è costituita da uno spartitraffico di larghezza 2,50 m, banchine in sinistra da 0,50 m (oltre allargamenti per visibilità), n.4 corsie (2 per senso di marcia) di modulo 3,75 m ciascuna, eventuale corsia specializzata (ingresso/uscita) di modulo 3,75 m e banchine in destra da 1,75 m (oltre allargamenti per visibilità).

Completterà la sezione in rilevato un arginello di larghezza totale pari a 1,70 m, ubicato prima della scarpata con pendenza 2 su 3; tale arginello sull'opera di scavalco sarà sostituito da un cordolo di larghezza 0,75 m.

Il tracciato rispetta l'intervallo di velocità di progetto pari a 70-120 Km/h, in dettaglio l'asse planimetrico ha origine in rettilineo sulla sede dell'infrastruttura esistente mantenendo intatto il ciglio destro pavimentato, per poi scostarsi verso sinistra con una curva di raggio 7.500 m e successivamente, tramite un flesso planimetrico con curve di ampio raggio (7.500 m), riprendere l'allineamento previsto nel progetto approvato, vale a dire tra il canale "Cornia" e il sedime ferroviario.

Superata la ferrovia tramite un viadotto di scavalco il tracciato stradale si colloca parallelamente al canale per poi scostarsi verso sinistra con una curva di raggio 550 m e tramite un altro flesso planimetrico (stavolta con curva di raggio 333 m lungo la quale è prevista l'opera di scavalco del canale) innestarsi in rettilineo sulla rotatoria (in fase di realizzazione da parte dell'Autorità Portuale).

A livello altimetrico il tracciato ha origine ad una quota di circa 3.00 m s.l.m. e termina alla stessa quota circa sulla suddetta rotatoria; la pendenza longitudinale massima è del 3% mentre si registrano un raccordo minimo convesso di 4.200 m e un raccordo concavo minimo di 4.000 m (a meno del raccordo in prossimità della rotatoria pari a 700 m) in pieno rispetto con la normativa tecnica cogente.

In rettilineo è prevista una piattaforma a doppia falda (pendenza 2,5%), la quale è stata mantenuta nei tratti in curva ad ampio raggio (7.500 m), per i quali la normativa non richiede rotazione di sagoma; sarà prevista una sagoma a falda unica con pendenza del 7% nei tratti in curva e variabile nei tratti in clotoide, prima dell'innesto in rotatoria.

E' prevista altresì un'intersezione a livelli sfalsati con la strada provinciale S.P.40 prevedendo la realizzazione di n.4 rampe di svincolo dirette (intervallo di velocità di progetto 40-60 Km/h) e l'adeguamento della provinciale a strada tipo C2 secondo il DM 05/11/2001 (con velocità di progetto massima limitata a 60 Km/h nel tratto di svincolo).

Saranno previste n.2 rotatorie di progetto sul sedime esistente per consentire il corretto deflusso con la rete locale esistente.

L'intervento di progetto prevede per l'asse principale un viadotto di scavalco della linea ferroviaria esistente per una lunghezza totale di 466 m e un viadotto di scavalco del canale di lunghezza 76 m; sarà previsto un cavalcavia di svincolo per una lunghezza di 190 m oltre alle opere d'arte minori, quali muri di sostegno in terra rinforzata (per una lunghezza totale di circa 700 m); infine si è resa necessaria una deviazione del canale "Cornia Vecchia" nella zona di svincolo per una lunghezza complessiva di circa 1.300 m.

## 2.2 PIANIFICAZIONE TERRITORIALE – PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO

La difesa del suolo è la risultante di azioni e interazioni che concorrono a determinare sul territorio condizioni di messa in sicurezza idraulica e idrogeologica, prevenzione di rischi, oltre che recupero e salvaguardia delle risorse acqua e suolo. Essa può definirsi di settore solo in riferimento alle analisi iniziali, fase conoscitiva e fase valutativa, oltre le quali si evolve in strumento di pianificazione territoriale sovraordinato, in relazione agli aspetti peculiari. Il Piano di Bacino infatti, orienta e modifica tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale, e ciò in funzione della sostenibilità specifica e complessiva di tutte quelle attività la cui continuità si basa sulla disponibilità di risorse naturali e sulla capacità di mantenere e/o recuperare livelli di sicurezza certi rispetto ai rischi idraulico e idrogeologico.

La Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, 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.

In base al D.lgs. 49/2010, i soggetti competenti agli adempimenti di cui sopra, sono le Autorità di bacino distrettuali (introdotte dall'art. 63 del D.Lgs. 152/2006) e le Regioni che, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento nazionale della protezione civile, predispongono la parte dei piani di gestione per il distretto idrografico relativo al sistema di allertamento nazionale, statale e regionale, per il rischio idraulico ai fini di protezione civile. Poiché le Autorità di Distretto non sono state ancora costituite, con il D.lgs. 219 del 10 dicembre 2010 (art. 4, c. 1, lett. b "Misure transitorie") è stato disposto che siano le Autorità di Bacino di rilievo nazionale di cui alla legge 183/1989, e le Regioni, ciascuna per la parte di territorio di propria competenza, a provvedere all'adempimento degli obblighi previsti dal D.lgs. 49/2010. Alle Autorità di bacino nazionali sono state inoltre attribuite funzioni di coordinamento nell'ambito del distretto idrografico di appartenenza. Pertanto la Regione Toscana provvede agli adempimenti per i seguenti bacini, tutti ricompresi nel Distretto Appennino Settentrionale: Fiume Magra, Fiora, Marecchia-Conca, Lamone, Ombrone, Toscana Nord e Toscana Costa, mentre per quanto riguarda le mappe della pericolosità e del rischio relative al territorio toscano del bacino del Fiume Reno saranno predisposte dalla relativa Autorità di bacino.

## RELAZIONE IDROLOGICA

In Italia, il dibattito sull'assetto idrogeologico e sullo stato-gestione delle acque, dagli anni '60 in poi è stato, è stato ampio ed approfondito sia in ambito tecnico/scientifico, sia in ambito amministrativo/istituzionale. A tal proposito di seguito si richiamano i principali provvedimenti in materia (MATTM, 2013):

- la Conferenza nazionale delle Acque fine degli anni '60, (con il relativo *Piano Generale delle Acque*) e la Commissione De Marchi 1970, (con il *Piano di Bacino*) che proposero, negli stessi anni, due innovative tipologie di pianificazione territoriale riguardanti argomenti strettamente connessi e complementari;
- la Legge n. 183/1989 recante *"Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"* con l'individuazione del *bacino idrografico* quale unità fisiografica di riferimento, inteso come ambito fisico di pianificazione che supera le frammentazioni dovute all'impiego di confini esclusivamente amministrativi e l'istituzione dell'*Autorità di Bacino* quale ente competente sul bacino idrografico cui è affidato il compito di redigere il "Piano di Bacino", *"lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso, finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato"*;
- la Legge n. 267/1998 e s.m.i (c.d. Legge Sarno), che a seguito degli eventi che colpirono la Campania nel 1998 ha disposto, tra l'altro, l'adozione, da parte delle Autorità di Bacino di rilievo nazionale e interregionali nonché delle Regioni per i restanti bacini (ove non si fosse già provveduto), dei Piani Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI);
- il D.P.C.M. del 29 settembre 1998 *"Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998 n.180"* con cui sono stati indicati i criteri ed i metodi per l'individuazione del rischio dipendente dai fenomeni di carattere idrogeologico e, quindi, per la redazione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico;
- il D.Lgs. 3 aprile 2006 n.152 e s.m.i., in particolare la parte III del "Codice dell'Ambiente" disciplina le norme in materia di difesa suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche, riproponendo in sostanza, lo schema dei Piani Stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico. Il codice, ha operato una riorganizzazione degli ambiti territoriali di riferimento attraverso la suddivisione del territorio nazionale in *Distretti idrografici* prevedendo, all'art.63, l'istituzione delle Autorità di bacino Distrettuali e abrogando all'art. 175 la Legge 183/89;

- il D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 concernente il recepimento della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi di alluvioni;
- il D.Lgs. dicembre 2010 n. 219, art.4 che, nelle more della costituzione delle Autorità di bacino distrettuali, dispone che siano le Autorità di Bacino di rilievo nazionale di cui alla legge 183/1989, e le Regioni, ciascuna per la parte di territorio di propria competenza, a provvedere all'adempimento degli obblighi previsti dal D.lgs. 49/2010.

Il territorio toscano è ricompreso nei seguenti distretti idrografici (si veda Figura 1):

- distretto idrografico dell'Appennino settentrionale, che comprende i seguenti bacini idrografici: Arno (bacino nazionale), Magra, Fiora, Marecchia-Conca e Reno (bacini interregionali), Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone (bacini regionali);
- distretto idrografico pilota del Serchio: bacino del F. Serchio (bacino nazionale);
- distretto idrografico dell'Appennino centrale per la parte del territorio regionale ricadente nel bacino idrografico del F. Tevere (bacino nazionale);
- distretto idrografico Padano solo per una modesta porzione montana del territorio regionale ricadente del bacino del F. Po (bacino nazionale).

RELAZIONE IDROLOGICA

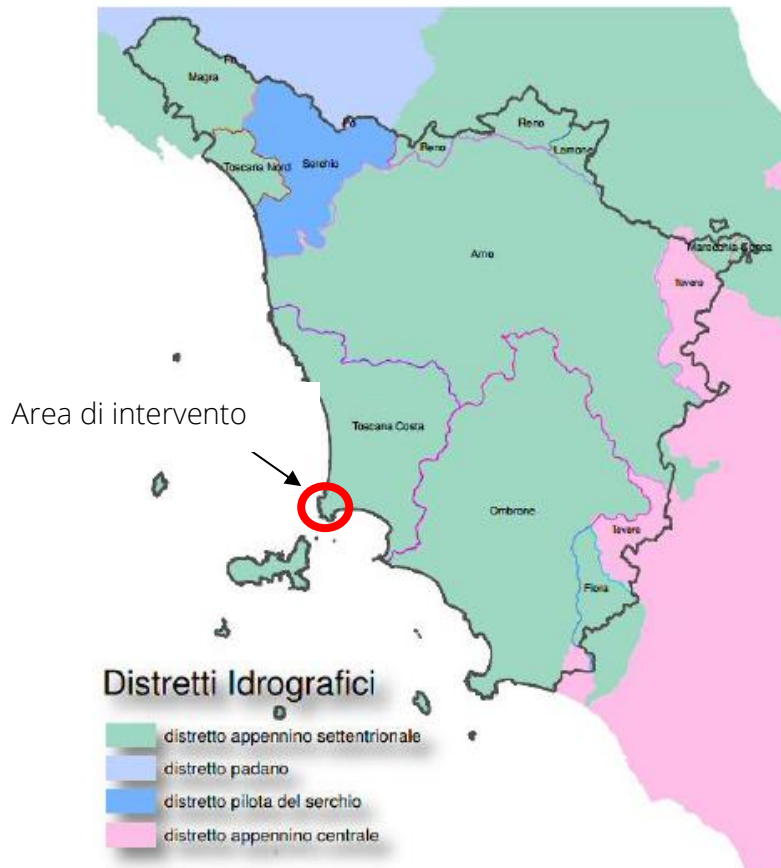


Figura 1 - I distretti idrografici in Toscana.

Considerato che le Autorità di Distretto non sono state ancora costituite, con il D.lgs. 219 del 10 dicembre 2010 (art. 4, c. 1, lett. b "Misure transitorie") è stato disposto che siano le Autorità di Bacino di rilievo nazionale di cui alla legge 183/1989, e le Regioni, ciascuna per la parte di territorio di propria competenza, a provvedere all'adempimento degli obblighi previsti dal D.lgs. 49/2010.

Pertanto la Regione Toscana ha provveduto all'adempimento degli obblighi per i seguenti bacini:

- Bacino regionale Toscana Costa
- Bacino regionale Toscana Nord
- Bacino regionale Ombrone
- Bacino interregionale del Marecchia-Conca (porzione toscana)
- Bacino interregionale del Lamone (porzione toscana)
- Bacino interregionale del Fiume Magra (porzione toscana)



- Bacino interregionale del Fiume Fiora (porzione toscana)

La valutazione preliminare del rischio di alluvioni è rappresentata da una valutazione dei rischi potenziali, principalmente sulla base dei dati registrati, di analisi speditive e di studi sugli sviluppi a lungo termine, tra cui in particolare, le possibili conseguenze dovute ai cambiamenti climatici. L'esistenza nel territorio italiano dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), redatti ai sensi della Legge 183/89, sono stati ritenuti sufficienti ed adeguati a fornire le informazioni previste dalla valutazione preliminare del rischio di alluvioni.

Per quanto riguarda l'area oggetto degli interventi, risulta attualmente vigente il PAI - Bacino regionale Toscana Costa, pertanto per l'elaborazione delle mappe di pericolosità e del rischio si è fatto riferimento a tale piano.

Il reticolo indagato risulta dunque essere quello già oggetto di studi ed indagini e per i quali si è proceduto alla perimetrazione della pericolosità, ed eventualmente ampliato con l'aggiunta di ulteriori tratti, sede di recenti e documentati fenomeni di dissesto idraulico. La verifica di completezza del reticolo idrografico e l'individuazione delle eventuali integrazioni o modifiche è stata effettuata anche considerando le valutazioni effettuate sui beni esposti, gli eventi alluvionali storici e le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali.

In relazione alle specifiche condizioni idrauliche e idrogeologiche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi di interventi antropici, sono soggetti alle norme del presente titolo le aree perimetrate con la sigla P.I.ME. e P.I.E. nelle allegate carte di tutela del territorio:

- aree pericolosità idraulica molto elevata (P.I.ME): aree individuate e perimetrate ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998;
- aree pericolosità idraulica elevata (P.I.E.): aree individuate e perimetrate ai sensi degli atti di indirizzo e coordinamento emanati a seguito della Legge 183/89 e del D.L. 180/1998.

Come risulta dall'analisi dell'elaborato *TOOID00IDRPL01A - Planimetria delle aree a pericolosità e rischio idraulico del PAI* e dalla Figura 2, gli interventi in progetto ricadono, anche se marginalmente, in aree classificate a pericolosità idraulica elevata (P.I.E.) ed a pericolosità idraulica molto elevata (P.I.ME).

Le Norme di attuazione del PAI a riguardo, tra gli interventi consentiti in tali ambiti, (cfr. art.5 comma11.c) consentono:

*"la realizzazione di nuove opere e infrastrutture pubbliche o di interesse pubbliche non diversamente localizzabili, purché siano realizzate in condizioni di sicurezza idraulica per tempi di ritorno di 200 anni, non precludano la possibilità di attenuare o eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio e non concorrano ad aumentare il rischio in altre aree. Quanto sopra deve risultare da idonei studi idrologici ed idraulici che dovranno attenersi ai*

RELAZIONE IDROLOGICA

*criteri definiti dal Bacino, il quale si esprime sulla coerenza degli stessi con gli obiettivi e gli indirizzi del presente Piano e dei propri atti di pianificazione, ed ove positivamente valutati costituiscono implementazione del quadro conoscitivo del presente”.*

Si è pertanto proceduto ad effettuare uno specifico studio idrologico, destinato alla definizione delle portate del fosso Vecchia Cornia, in corrispondenza delle diverse sezioni di chiusura considerate, di assegnata frequenza probabile, propedeutico allo studio di compatibilità idraulica dell’infrastruttura in progetto, destinato alla verifica di assenza di aggravio della pericolosità, in termini di aumento di superfici allagate e delle persistenze delle necessarie condizioni della sicurezza.

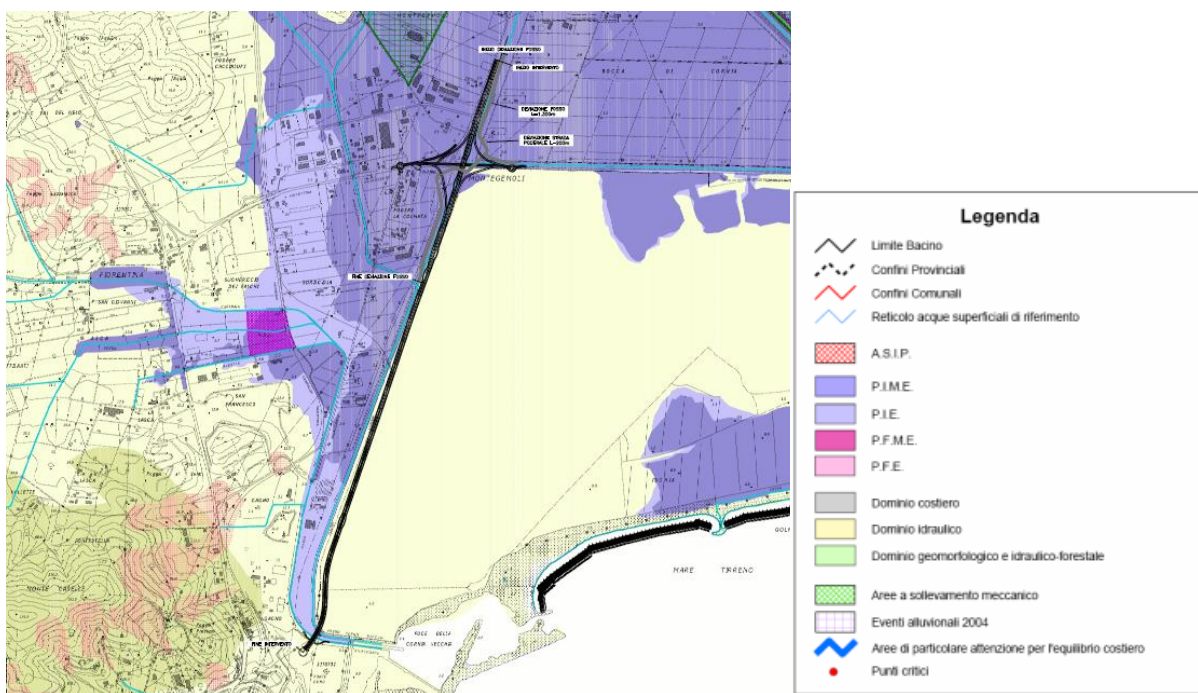


Figura 2 - PAI Abr Toscana Costa – Aree a pericolosità elevata (P.I.E.) e a pericolosità molto elevata (P.I.M.E.).

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 sono stati in seguito adottati i Piani di Gestione del Rischio Alluvioni con apposizione delle misure di salvaguardia, realizzati dal Distretto Appennino Settentrionale; successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato. Seguendo le indicazioni della direttiva “alluvioni” e del decreto di recepimento 49/2010, con il coordinamento dell’Autorità di Bacino del fiume Arno, le autorità di bacino nazionale, interregionali e regionali, insieme alle regioni del distretto, hanno predisposto i piani.

L’art 5 della delibera 235 di Approvazione del PGRA sancisce che per i territori delle Unit of Management Arno, Toscana Costa e Toscana Nord, Ombrone, continua ad applicarsi la deliberazione 232 del Comitato istituzionale integrato del 17/12/2015 recante [...] “misure di salvaguardia transitorie”.

## RELAZIONE IDROLOGICA

Le classi di pericolosità all'interno del PGRA sono così definite:

- aree a pericolosità idraulica elevata (P3), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 50 anni;
- aree a pericolosità idraulica media (P2), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni;
- aree classificate a pericolosità bassa (P1), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

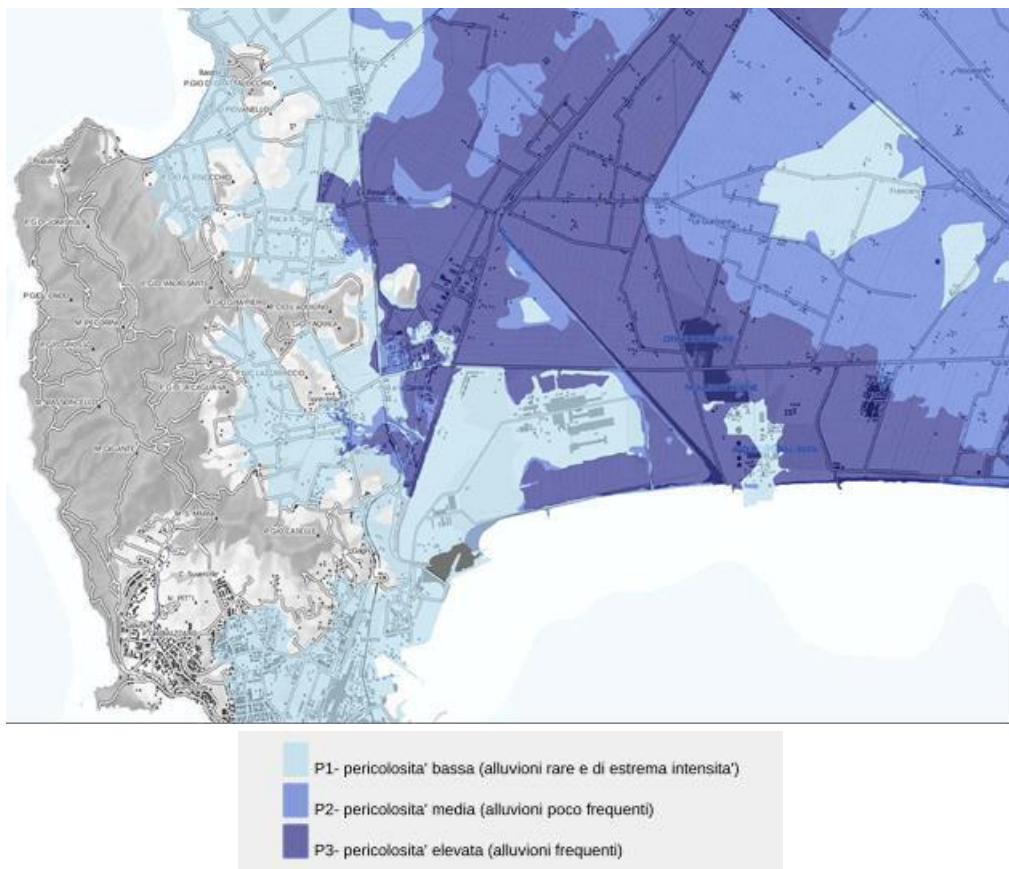


Figura 3 - Piano Gestione Rischio Alluvioni - Carta della pericolosità da alluvione.

### 2.3 GEOLOGIA ED IDROGRAFIA

L'area in oggetto è posta a Nord-Est dell'abitato di Piombino e si estende per circa 1 km a cavallo del tracciato stradale di progetto. Il promontorio di Piombino è caratterizzato da affioramenti della falda Toscana, ai quali si sovrappongono gli elementi Subliguri. Lungo i rilievi collinari più prossimi all'area di interesse progettuale affiorano prevalentemente le unità Subliguri, costituite dalle Arenarie di Suvereto (oligocene -miocene) cronologicamente coeve al Macigno della serie Toscana; lungo l'estremità meridionale del promontorio sono invece

prevalenti le sequenze torbidityche di Salivoli Piombino (Eocene). Entrambe le formazioni suddette sono giustapposte a depositi continentali e retrocostieri riconducibili ai cicli eustatici del Pleistocene medio e sup; depositatesi in più fasi a cavallo della glaciazione Wurmiana e presenti per alcune decine di metri di spessore. Si tratta di depositi principalmente sabbiosi, caratterizzati da una caratteristica colorazione giallo rossastra; presentano talvolta notevole scheletro argilloso e intercalazioni limoso - argillose legate ai cicli di variazione eustatica.

Nella vasta pianura posta a NE del promontorio si individua la valle fluviale del Cornia, bonificata in più fasi nel corso del XIX secolo. Il tracciato di progetto si sviluppa pressoché interamente in piano, lungo la parte terminale del bacino bonificato del Cornia e a ridosso dei rilievi collinari descritti precedentemente, tali rilievi risultano in parte spianati artificialmente e pertanto in quegli ambiti il substrato si trova a modestissima profondità. Buona parte delle aree attraversate dal tracciato sono antropizzate e occupate da attività industriali presenti da svariate decine di anni, le quali hanno obliterato le evidenze geologiche originarie. Di seguito si descrivono, in ordine cronologico, le formazioni litologiche individuate nella cartografia geologica allegata al progetto.

*Depositi antropici* - Si tratta di accumuli di materiale lapideo o non lapideo, molto eterogenei dal punto di vista sia granulometrico, sia litologico; questi materiali sono stati mobilitati in relazione alle attività di urbanizzazione civile e/o industriale. Dal momento che buona parte dell'area di pertinenza progettuale risulta ubicata in zona siderurgica (acciaierie Lucchini), sono diffusi i depositi antropici costituiti da scorie di altoforno, di aspetto a tratti litoide o semilitoide. Le scorie sono state peraltro utilizzate per decenni al fine di spostare verso mare la linea di costa, guadagnando significative porzioni di terre emerse. Depositi antropici in area industriale siderurgica Lucchini.

*Depositi alluvionali, lagunari e deltizi* - al (Olocene) Sono rappresentati dalle alluvioni attuali e recenti della piana costiera del Cornia e presenti con continuità lungo tutta l'area pianeggiante posta a nord-Est dell'abitato di Piombino. Le alluvioni sono costituite da sedimenti piuttosto eterogenei, in relazione alla evoluzione storica del territorio e della rete idrografica principale: - in superficie, per i primi 3-6 m di spessore, prevalgono i depositi di colmata, la granulometria risulta molto variabile, ma generalmente si tratta di terreni compressibili e poco addensati di colore variabile da nocciola marrone a grigio. - A profondità maggiori si rinvengono i depositi continentali, alluvionali, lagunari e di palude retrocostiera, variabili in spessore da 10 -15 m fino a circa 30 -35 m. Sono costituiti da alternanze metriche di argille limose e sabbie limose, con locali intercalazioni di ghiaie evolute in profondità; il colore è prevalentemente grigio e grigio scuro, solo localmente nocciola ocreo. Ai depositi si accompagnano sovente a sottili livelli calcarenitici (tipo Panchina), o presentano inclusi arenacei e intercalazioni ghiaiose decimetriche sparse.

*Arenarie di Suvereto* - su (Oligocene - Miocene inf.) Si tratta di arenarie quarzoso feldspatiche a granulometria prevalentemente medio - fine, organizzate in strati medi e subordinatamente in strati spessi o in banchi; vi possono essere rare intercalazioni conglomeratiche. Nell'ambito dei banchi si rinvengono orizzonti gradati a granulometria grossolana. Il colore è grigio, giallastro per alterazione, con interstrati grigio scuri. Questa formazione appartiene alle Unità Subliguri e risulta coeva alla formazione

## RELAZIONE IDROLOGICA

del Macigno, che invece fa parte della Falda Toscana. Le due unità non sarebbero facilmente distinguibili, se non in ragione della diversa posizione nell'orogene. Le Arenarie di Suvereto affiorano estesamente lungo i rilievi collinari costieri; nell'ambito delle aree di pertinenza progettuale sono state cartografate presso l'intersezione dell'asse 1A con la SS 389 e nella parte finale dell'asse 'via unità d'Italia', lungo un vasto promontorio roccioso, oggi parzialmente spianato per esigenze antropiche.

L'area in esame rientra nel bacino idrografico del Fiume Cornia il cui bacino idrografico ha un'estensione totale pari a circa 354 km<sup>2</sup>.

La Valle del Cornia coincide in buona parte con la Pianura di Piombino e costituisce un serbatoio naturale di acqua dolce, localizzato in un acquifero costituito da depositi alluvionali, alimentato dall'infiltrazione delle acque meteoriche, dai deflussi di subalveo del Fiume Cornia e da alcuni torrenti minori.

I confini naturali del bacino del Fiume Cornia sono, a nord la dorsale del bacino del Cecina, a sud il bacino dei Fiumi Bruna e Pecora, ad oriente la dorsale del bacino del Fiume Pavone, mentre ad ovest è delimitato dalla costa sabbiosa di Torremozza (Golfo di Follonica).

Il Fiume Cornia nasce dal Monte Aia dei Diavoli (m 875 s.l.m.), presso Striscia e si divide in due rami: Fosso Cornia Vecchia, che sfocia nel Mar Tirreno a Ponte d'Oro, e fiume Cornia, canalizzato, che si immette nella Cassa di Colmata a Bocche di Cornia. Gli affluenti principali sono, in riva sinistra il Rio Secco (che scorre in Provincia di Grosseto) ed il Torrente Milia (Provincia di Livorno); in destra riceve il Torrente Massera.

### 2.4 INTERFERENZE IDRAULICHE

Il tracciato stradale in progetto interferisce con il canale Vecchia Cornia, gestito dal Consorzio Bonifica 5 Toscana Costa, il corpo stradale interessa direttamente l'alveo del canale ed è stato quindi necessario prevedere una ricollocazione plano-altimetrica del canale stesso.

Allo scopo è prevista una inalveazione con caratteristiche del tutto analoghe allo stato di fatto, è prevista la realizzazione di una sezione trapezia, non rivestita, in terra, caratterizzata da una larghezza alla base di 6.0 m, sponde inclinate 1/1 ed altezza compresa di circa 3.0m.

La deviazione, caratterizzata da una lunghezza complessiva di circa 1300m, ha origine in corrispondenza dell'inizio del tracciato stradale; il tracciato si svolge dapprima, per i primi 520 m, fino all'immissione del canale Base Geodetica, parallelamente ed in sinistra all'asse stradale per poi passare, in corrispondenza dell'area di svincolo con la SP 40, in destra e confluire nella sede esistente.

L'attraversamento dell'asse principale e dei rami di svincolo interferenti (Ramo 1 e Ramo 4) avviene mediante opportuni manufatti, costituiti da tombini scatolari 2\*(4.0m x 3.0 m).

Per la valutazione delle caratteristiche di deflusso e per le valutazioni di compatibilità idraulica è stato pertanto necessario effettuare uno specifico studio idrologico che, a partire dalla perimetrazione delle diverse aree scolanti, in corrispondenza delle diverse sezioni di chiusura dei bacini, dalla caratterizzazione del regime pluviometrico delle precipitazioni nell'area di interesse, attraverso la definizione di modello di trasformazione afflussi-deflussi, potesse condurre a definire la valutazione delle portate al colmo, caratterizzate da un fissato tempo di ritorno Tr (30, 50, 100, 200 e 500 anni).

## 2.5 CARATTERIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Il regime pluviometrico è stato determinato a partire dai risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività "Modellazione idrologica", 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. Nell'ambito di tale lavoro è stata fornita la stima dell'altezza di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Per le durate caratteristiche, sono state elaborate le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno.

Il problema della stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontato con metodologie diverse, tra cui la più robusta e più utilizzata a livello scientifico e tecnico è l'analisi di frequenza regionale.

Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile per le diverse stazioni pluviometriche presenti sul territorio di una regione riducendo così l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura. Analisi pluviometrica a scala regionale- Regionalizzazione 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. In questo studio per la stima della variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV Two-Component Extreme Value secondo un approccio gerarchico a tre livelli. La legge probabilistica TCEV è una distribuzione a quattro parametri, composta dal prodotto di due distribuzioni a valori estremi del 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  $\Lambda_1 > \Lambda_2 \geq 0$ ) 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  $\theta_1 > \theta_2 > 0$ ) 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  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta  $y$ , dove i parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  sono definiti come:

$$\theta^* = \theta_2 / \theta_1 \quad \text{e} \quad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\theta^*}$$

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

Le stazioni con almeno 30 anni sono 152 con mediamente 52.9 anni di dati. Per la pioggia con durata inferiore all'ora, facendo riferimento alle piogge a 15 minuti, le stazioni presenti nel database con 10 o più anni di dati sono 281 con mediamente 16.5 anni di dati. Le stazioni con almeno 30 anni sono solamente 5 con mediamente 31.2 anni di dati. 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 ogni regione è stata determinata una curva di crescita per le precipitazioni giornaliere e, quando questa non sia risultata indicativa dell'andamento della distribuzione di frequenza cumulata sperimentale delle piogge a livello orario, si è proceduto ad una stima diretta della curva di crescita per ciascun valore di durata. Dal confronto tra le curve di crescita teoriche del modello TCEV dedotte su base oraria e i dati sperimentali delle altezze di pioggia di durata 30' con più di 30 anni di dati, è emersa la possibilità di rappresentare i valori sub-orari con la distribuzione TCEV valida per 1h. Per la determinazione della pioggia indice per ogni regione

omogenea e per ogni durata di pioggia è stato utilizzato un modello multivariato, funzione di caratteristiche climatiche e geo-morfologiche.

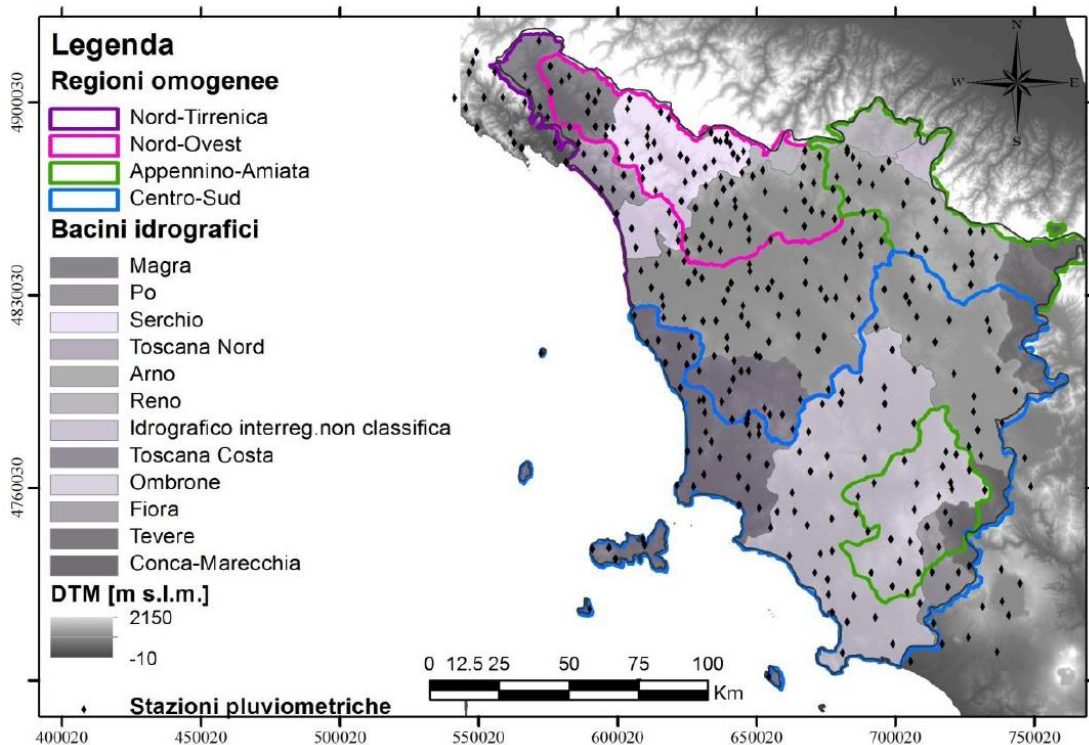


Figura 4 - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee.

In Figura 4 sono rappresentate le regioni statisticamente omogenee e le 351 stazioni pluviometriche con più di 30 anni di dati, utilizzate nel presente studio. In secondo piano è presente la divisione in bacini idrografici e il modello digitale del terreno (DTM). Curve di possibilità pluviometrica con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione), trascurando le perdite.

Il settore idrologico regionale, della Regione Toscana, monitora il territorio regionale con un sistema di reti di pluviometri e stazioni meteoriche, ottenuto mediante un potenziamento della rete meteo-idropluviometrica, approvato con DPCM 15/12/1998, secondo quanto indicato dalla legge 267/98, prevedevano, oltre alla realizzazione di una copertura omogenea delle reti di monitoraggio, il collegamento e l'interconnessione di tutte le componenti dei vari sistemi di monitoraggio censiti, oltre all'ottimizzazione delle funzionalità e della diffusione dei dati e il potenziamento dei centri esistenti ed operativi.

Il SIR della Toscana consente agli utenti l'accesso alla banca dati e alle elaborazioni, che comprendono la definizione dei parametri per la costruzione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP).



Dall'analisi del territorio emerge che le stazioni pluviometriche più vicine all'area di intervento sono:

- Venturina Terme;
- Vecchia SS Aurelia.

Confrontando i valori forniti per la definizione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica si nota che i valori elaborati per la stazione pluviometrica Vecchia SS Aurelia sono più cautelativi (Figura 5), perciò nell'analisi idrologica vengono utilizzati questi valori per il calcolo della portata di progetto.

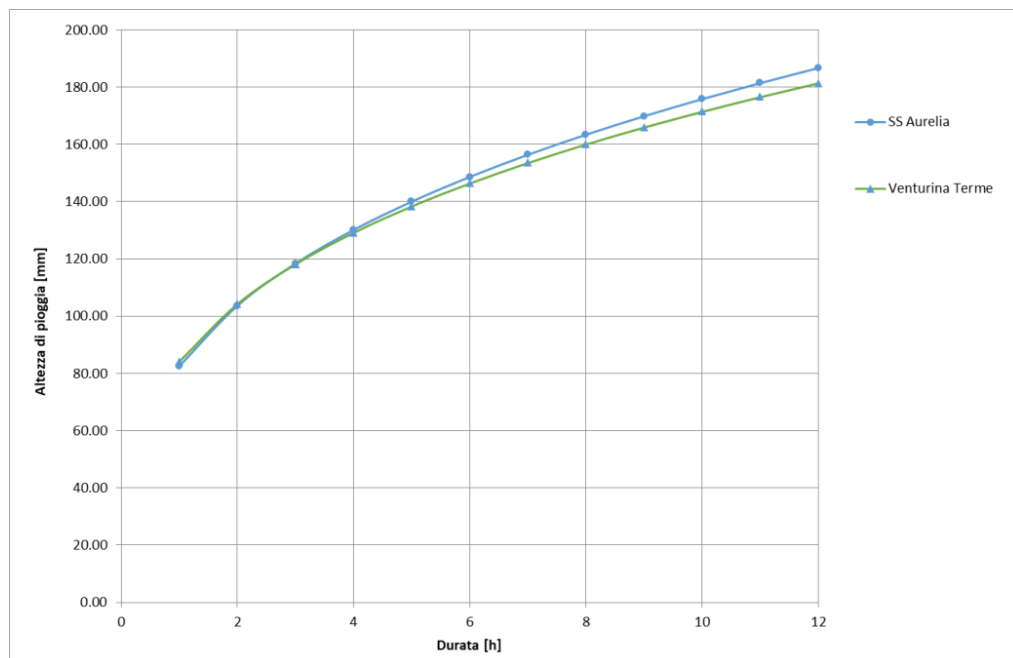


Figura 5 – Confronto tra le LSPP per  $T_r = 200$  anni delle stazioni pluviometriche Vecchia SS Aurelia e Venturina Terme.

Stazioni  Lat  Lon

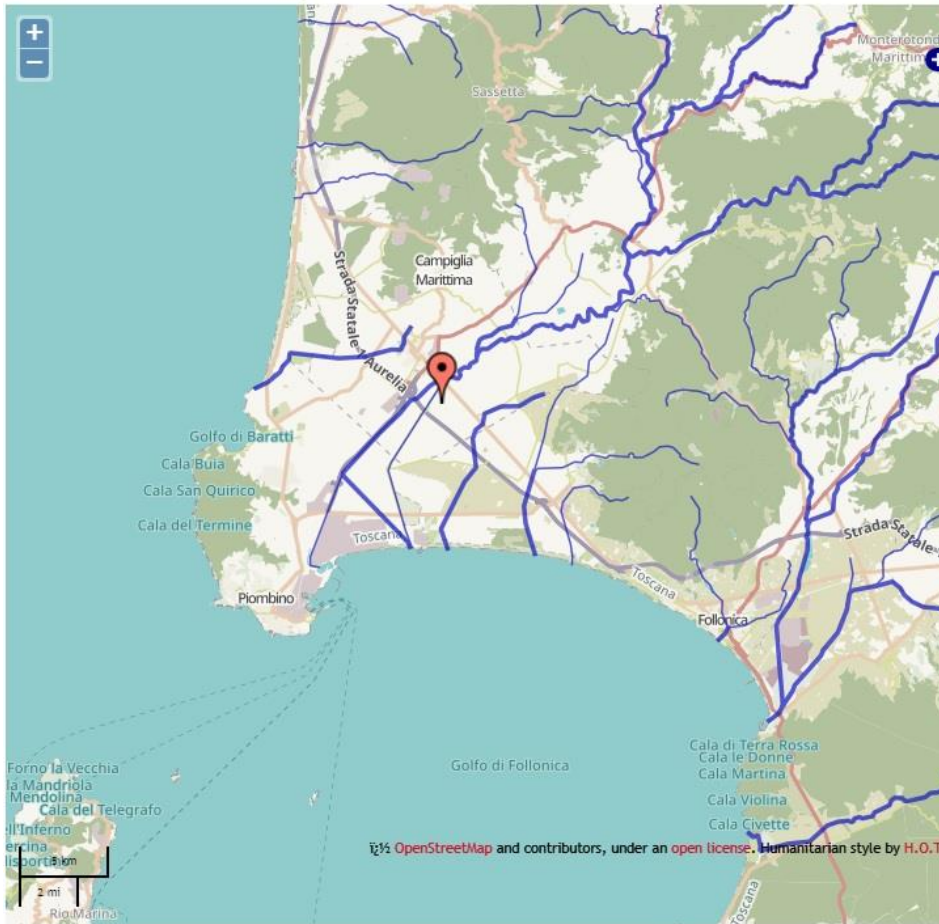


Figura 6 – Pluviometro Vecchia SS Aurelia.

Vecchia SS Aurelia - Campiglia Marittima (LI)		
Codice	TOS01005489 • 743407 • 2431	
GB [m]	E 1631542	N 4764206
WGS84 [°]	LAT 43.02	LON 10.61
Bacino	VARI COSTIERI TRA CECINA E CORNIA	
Elevazione slm [m]	12.00	
Cumulata [mm/24h]	0.0 -> 01/04/2019 15:00	

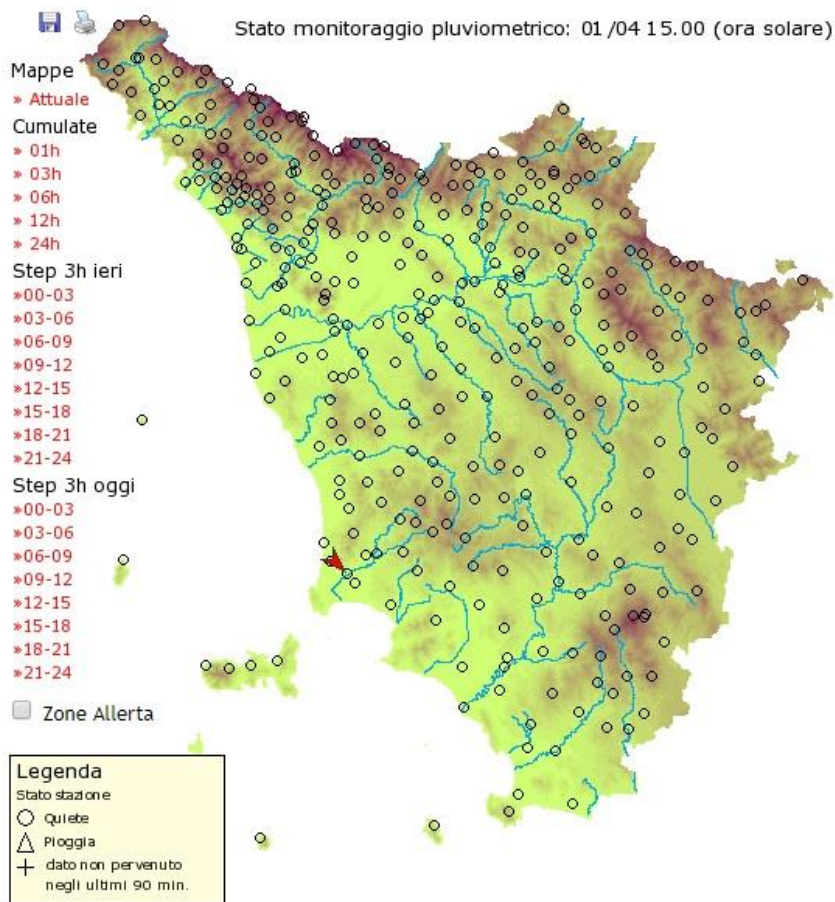


Figura 7 – Stazioni pluviometriche della rete SIR.

Si riportano di seguito i valori dei coefficienti  $a$  e  $n$  per la definizione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica:

Tr	a	n
anni	mm/h	adim
20	54.6	0.2
30	59.27	0.27
50	65.31	0.29
100	73.75	0.31
200	82.45	0.33
500	94.73	0.34

Tabella 1 - LSPP – Linee segnalatrici della Possibilità pluviometrica ( $T > 1h$ ) del bacino del fosso Vecchia Cornia.

Partendo dalle curve di possibilità pluviometrica ottenute per  $t > 1$  h è stato necessario, applicando una nota metodologia proposta in letteratura (AAVV, Sistemi di fognatura, Manuale di progettazione, 1997, ed. HOEPLI), estendere il campo di validità delle curve di possibilità pluviometrica anche alle durate di pioggia inferiori all'ora partendo dalle serie storiche di dati disponibili, che comprendono unicamente altezze di pioggia registrate per durate superiori all'ora.

In particolare, il sopraccitato metodo parte dall'osservazione che i rapporti  $r_d$  fra le altezze di pioggia di durata  $d$  inferiori all'ora e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località [Bell 1969]. Per le finalità del presente studio si è quindi ritenuto legittimo fare riferimento ai dati disponibili per il pluviografo di Milano Monviso dove, su un campione di 17 anni di osservazioni, sono stati calcolati i rapporti  $r_d$  dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria  $h_1$ .

Visto che i tempi di corrivazione caratterizzanti i bacini analizzati risultano estremamente contenuti (nettamente inferiori all'ora) e che le curve di possibilità pluviometrica sono state ottenute mediante l'elaborazione delle piogge intense aventi durate superiore o uguale all'ora, nei successivi calcoli sono stati utilizzati i seguenti rapporti tra la massima altezza di precipitazione di durata 8 e la massima altezza oraria.

d (minuti)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r_8 = h_{sm}/h_{1m}$	0.155	0.178	0.215	0.241	0.304	0.449	0.568	0.700	0.799

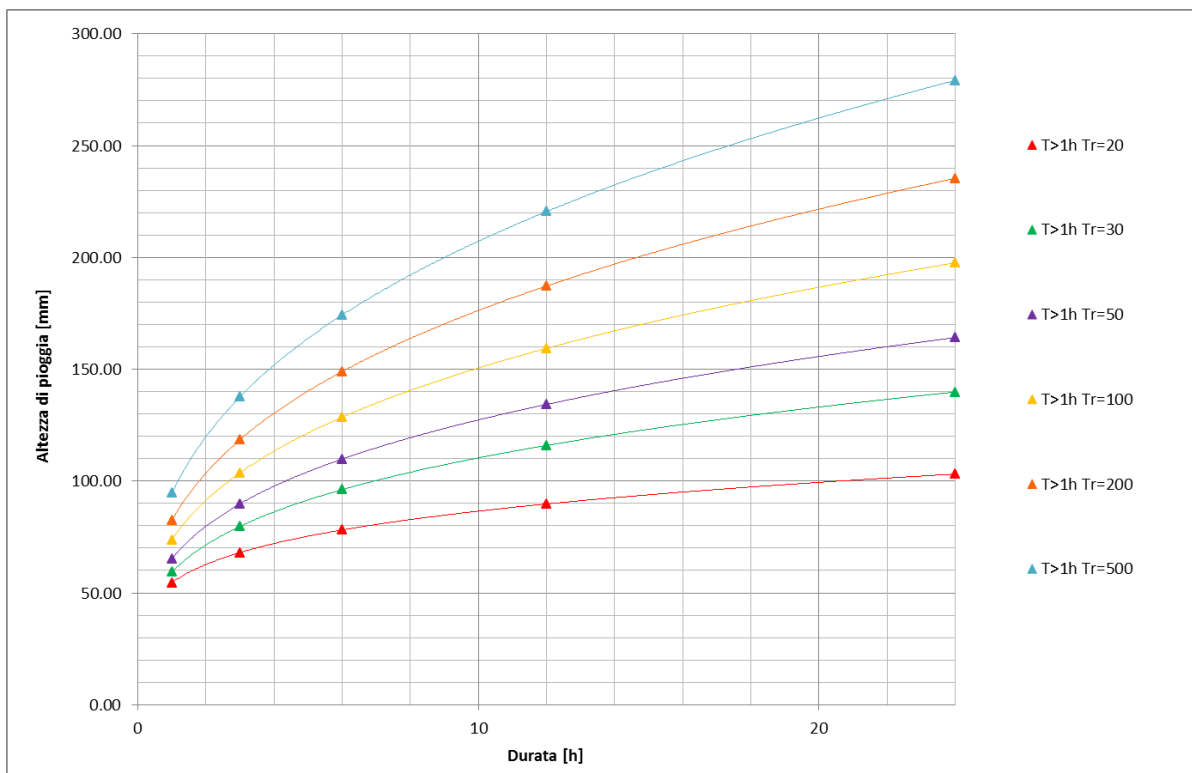
I valori sopra riportati sono stati elaborati sulla base di registrazioni effettuate al pluviografo di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga E. Salis M. Passoni G. 1990 - "Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano" - Città Studi, Milano).

Effettuando un'interpolazione dei punti, con una legge di tipo potenziale, si sono ricavati i valori dell'esponente da introdurre nella valutazione delle piogge critiche di durata inferiore all'ora.

Le linee segnalatrici della possibilità pluviometrica (LSPP) del bacino del fosso Vecchia Cornia, riportate nella Tabella 2 e nella Figura 8, sono state calcolate imponendo la continuità in corrispondenza di  $T=1h$ .

Tr	a	T<1h	T>1h
		n	n
anni	mm/h	adim	adim
20	54.6	0.5	0.2
30	59.27	0.5	0.27
50	65.31	0.5	0.29
100	73.75	0.5	0.31
200	82.45	0.5	0.33
500	94.73	0.5	0.34

Tabella 2 - Linee segnalatrici della Possibilità pluviometrica (LSPP) del bacino del fosso Vecchia Cornia.



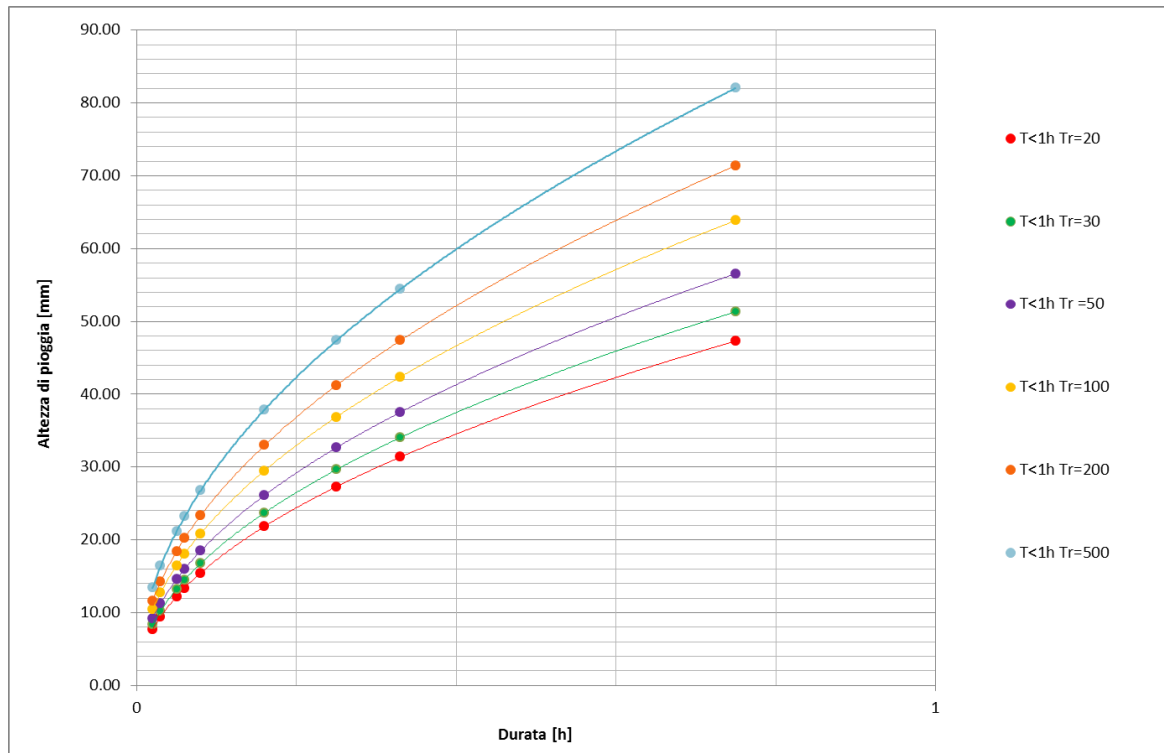


Figura 8 - Linee segnalatrici della possibilità pluviometrica (LSPP) del bacino del fosso Vecchia Cornia.

### 3 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

Il modello afflussi - deflussi, che si è ritenuto di utilizzare nell'ambito del presente studio idrologico, è un modello di tipo globale, ossia applicato unitariamente all'intero bacino idrografico di interesse, che combina i risultati dell'analisi statistica delle precipitazioni, effettuata mediante le metodologie esposte, con il metodo del Curve Number per la valutazione del volume netto di pioggia disponibile per la formazione della piena.

Tale modellazione si basa sulle seguenti ipotesi:

- la massima piena avvenga per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco di piena abbia il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione della piena nel bacino ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avvenga senza la formazione di significativi invasi, nel caso si formino invasi il colmo di

## RELAZIONE IDROLOGICA

piena calcolato con questa metodologia sarà comunque sovrastimato, a favore di sicurezza.

In definitiva il calcolo della portata al colmo viene eseguito uguagliando il volume di pioggia netta, o efficace, al volume della piena descritta a mezzo di un idrogramma di assegnata forma.

Da un punto di vista operativo la procedura si articola nei seguenti passi:

- perimetrazione e determinazione caratteristiche geomorfologiche e fisiologiche dei bacini dei bacini;
- calcolo del tempo di corrivazione;
- calcolo dell'altezza di pioggia puntuale;
- calcolo della pioggia netta;
- calcolo della portata al colmo.

La perimetrazione dei bacini sottesi alle diverse sezioni di chiusura di interesse del fosso Vecchia Cornia è stata effettuata sulla base della Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000 ed è stata riportata in forma grafica nell'elaborato di progetto *T00-ID00-IDR-CO01 – Corografia dei bacini idrografici*.

La caratterizzazione fisiografica e morfometrica delle aste fluviali e dei diversi bacini sottesi è stata effettuata, in ambiente ArcGIS della ESRI, attraverso il codice Spatial Analyst, utilizzando il DEM del terreno con maglia 2m x 2m, della Regione Toscana (vedi Figura 9 e Figura 13).

Per ciascuna sezione di chiusura e per il relativo bacino idrografico sono stati valutati, attraverso l'intersezione dei poligoni corrispondenti ai bacini con i diversi tematismi del SIT della Regione Toscana (DEM, idrografia, clivometria), i parametri significativi, necessari alla stima del tempo di corrivazione:

- superficie del bacino  $S$  [kmq];
- altitudine massima  $H_{max}$  [m s.l.m.];
- altitudine media  $H_{media}$  [m s.l.m.];
- altitudine in corrispondenza della sezione di chiusura  $H_{min}$  [m s.l.m.];
- pendenza media del bacino  $i_v$  [%];
- lunghezza dell'asta  $L_{max}$  [km] valutata sulla base della cartografia disponibile;
- pendenza media dell'asta  $I$  [m/m].

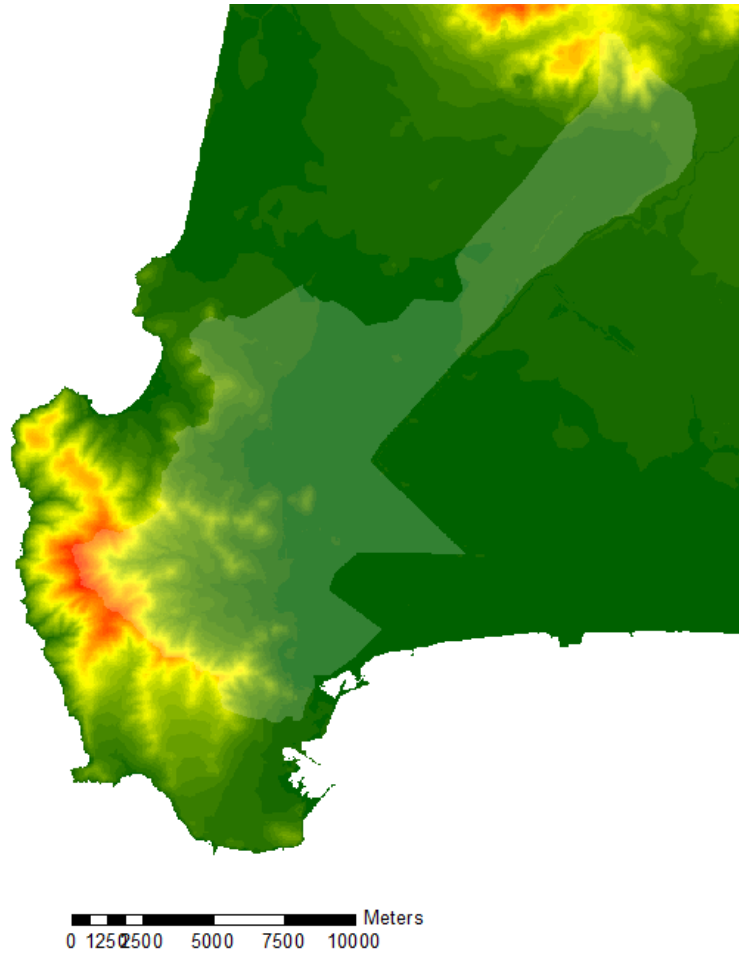


Figura 9 - Caratterizzazione fisiografica e morfometrica dei bacini idrografici sul DTM Regione Toscana.

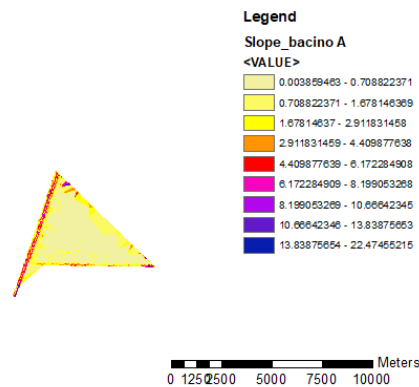


Figura 10 - Caratterizzazione della pendenza media del bacino fosso Vecchia Cornia – Sezione di Chiusura 1.



RELAZIONE IDROLOGICA

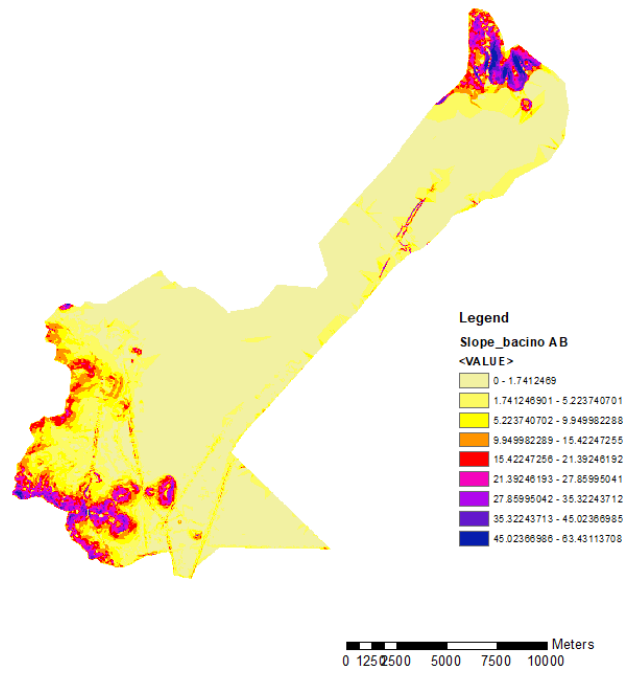


Figura 11 - Caratterizzazione della pendenza media bacino del fosso Vecchia Cornia- Sezione di Chiusura 3.

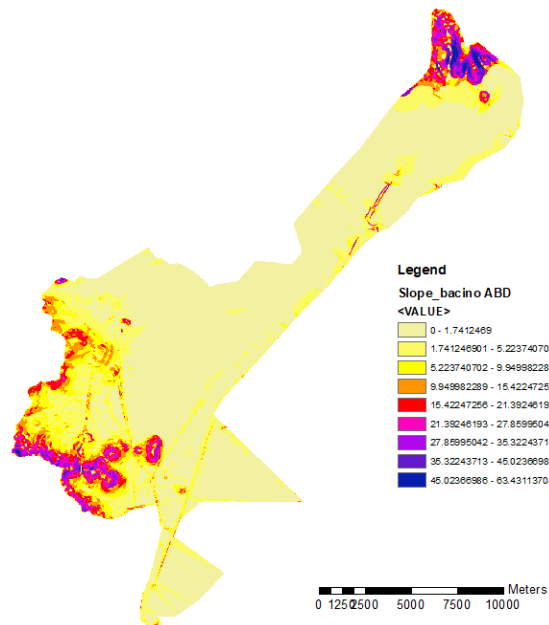


Figura 12 - Caratterizzazione della pendenza media bacino del fosso Vecchia Cornia- Sezione di Chiusura 5.

RELAZIONE IDROLOGICA

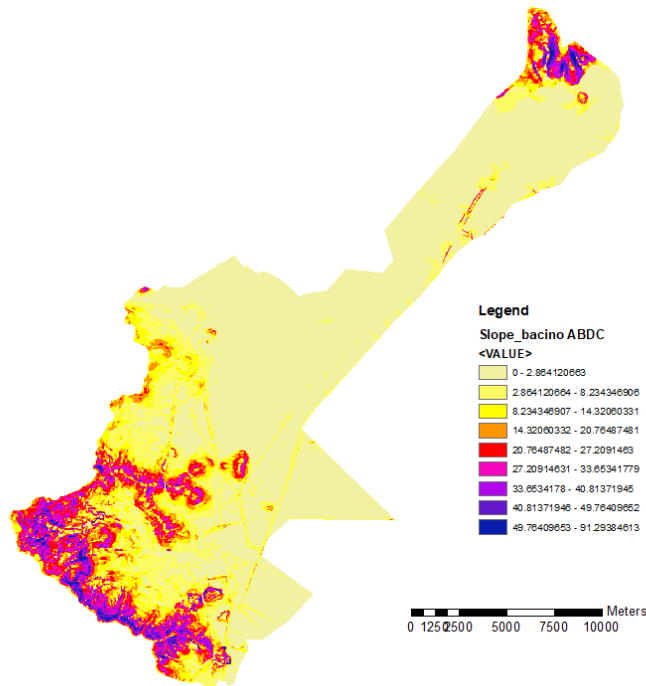


Figura 13 - Caratterizzazione della pendenza media bacino del fosso Vecchia Cornia- Sezione di Chiusura 6.

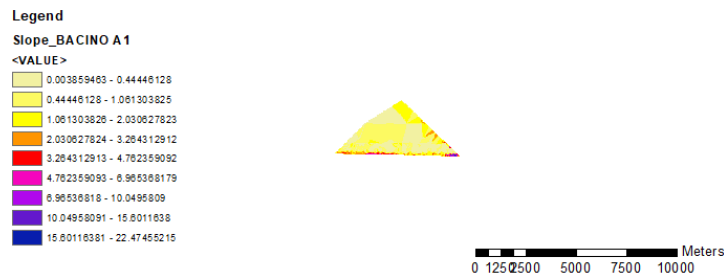


Figura 14 - Caratterizzazione della pendenza media bacino del fosso Vecchia Cornia- Sezione di Chiusura a.

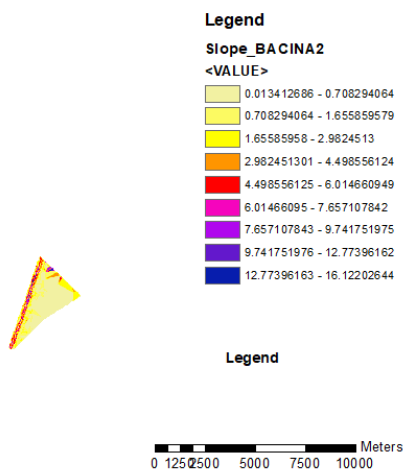


Figura 15 - Caratterizzazione della pendenza media bacino del fosso Vecchia Cornia- Sezione di Chiusura b.

### 3.1 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il calcolo del tempo di corrivazione ( $t_c$ ) individua la durata dell'evento di precipitazione critico per il bacino. La sua stima può essere effettuata utilizzando una delle diverse formulazioni empiriche o semi-empiriche che ne correlano il valore a caratteri morfologici del bacino idrografico o dell'asta fluviale.

La scelta della formula per il calcolo del tempo di corrivazione è uno dei momenti critici della procedura qui descritta. Infatti, questo parametro è di tipo soggettivo e quindi la sua definizione è legata all'esperienza del progettista, che potrà avvalersi anche di quanto presente in letteratura o raccomandato dall'Autorità di Bacino, tenendo presente che una sottostima del tempo di corrivazione tenderà a fornire delle portate di maggior valore e viceversa.

Nell'ambito del presente studio, si è fatto riferimento a cinque diverse formulazioni, ciascuna riconosciuta affidabile per la stima del tempo di corrivazione di bacini idrografici di determinate estensioni. Nel caso in esame un solo bacino risulta di estensione superiore ai 20 kmq, mentre tutti gli altri hanno superficie inferiore ai 3 kmq. Tutte le formulazioni risultano ampiamente documentate in letteratura e di consolidato uso nella pratica progettuale. Le formulazioni di Ventura, Pasini, Viparelli e Giandotti sono indicate nello studio VAPI come adatte ai bacini alla Sardegna.

Per la valutazione del tempo di corrivazione dei bacini di superficie sono state prese a riferimento diverse formulazioni quali:

SCS:

$$t_c = \frac{L^{0.8} * (2540 - 22.86 * CN)^{0.7}}{(1410.4 * CN^{0.7} * i^{0.5})}$$

in cui:

- L è la lunghezza dell'asta principale [m];
- i(%) è la pendenza media del bacino [%];
- CN (Curve number) [adim.], il quale dipende dai tipi di suolo e dal loro uso, come riportato nelle seguenti tabelle:

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. 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.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 16 – Classi di tipo di suolo secondo il metodo SCS – CN.

RELAZIONE IDROLOGICA

Tipo di copertura (uso del suolo)	TIPO SUOLO			
	A	B	C	D
<b>TERRENO COLTIVATO</b>				
Senza trattamento 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	90
<b>PRATERIE</b>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<b>TERRENI BOSCOSE 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% dell'area 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 (imper. 72%)</b>	81	88	91	93
<b>AREE RESIDENZIALI</b>				
Impermeabilità media %				
65	77	85	90	92
38	61	75	83	87
30	57	72	81	86
25	54	70	80	85
	51	68	79	84
<b>PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI</b>	98	98	98	98
<b>STRADE</b>				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Figura 17 - Valori del Curve Number al variare della classe di tipo di suolo e dell'uso del suolo.

I valori del CN sono stati desunti dalla carta dell'uso del suolo della Regione Toscana e del Comune di Piombino (fonte: <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>):

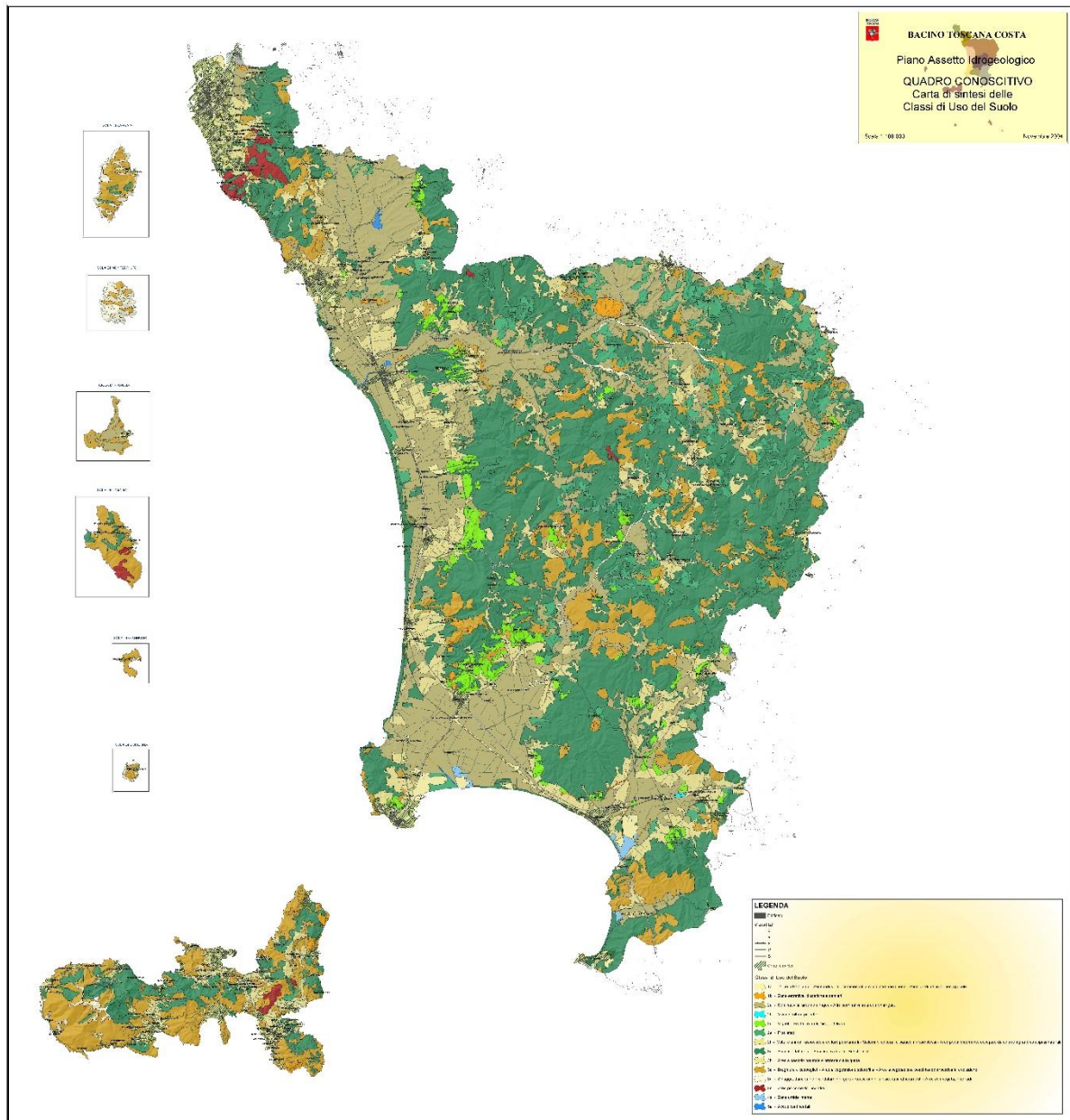


Figura 18 – Mappa uso del suolo della Regione Toscana.

Nel caso specifico sono stati individuati cinque bacini idrografici per altrettante sezioni di chiusura.

LEGENDA

VALORI CN

35 - 40
40 - 45
45 - 50
50 - 55
55 - 60
60 - 65
65 - 70
70 - 75
75 - 80
80 - 85
85 - 90
90 - 95
95 - 98

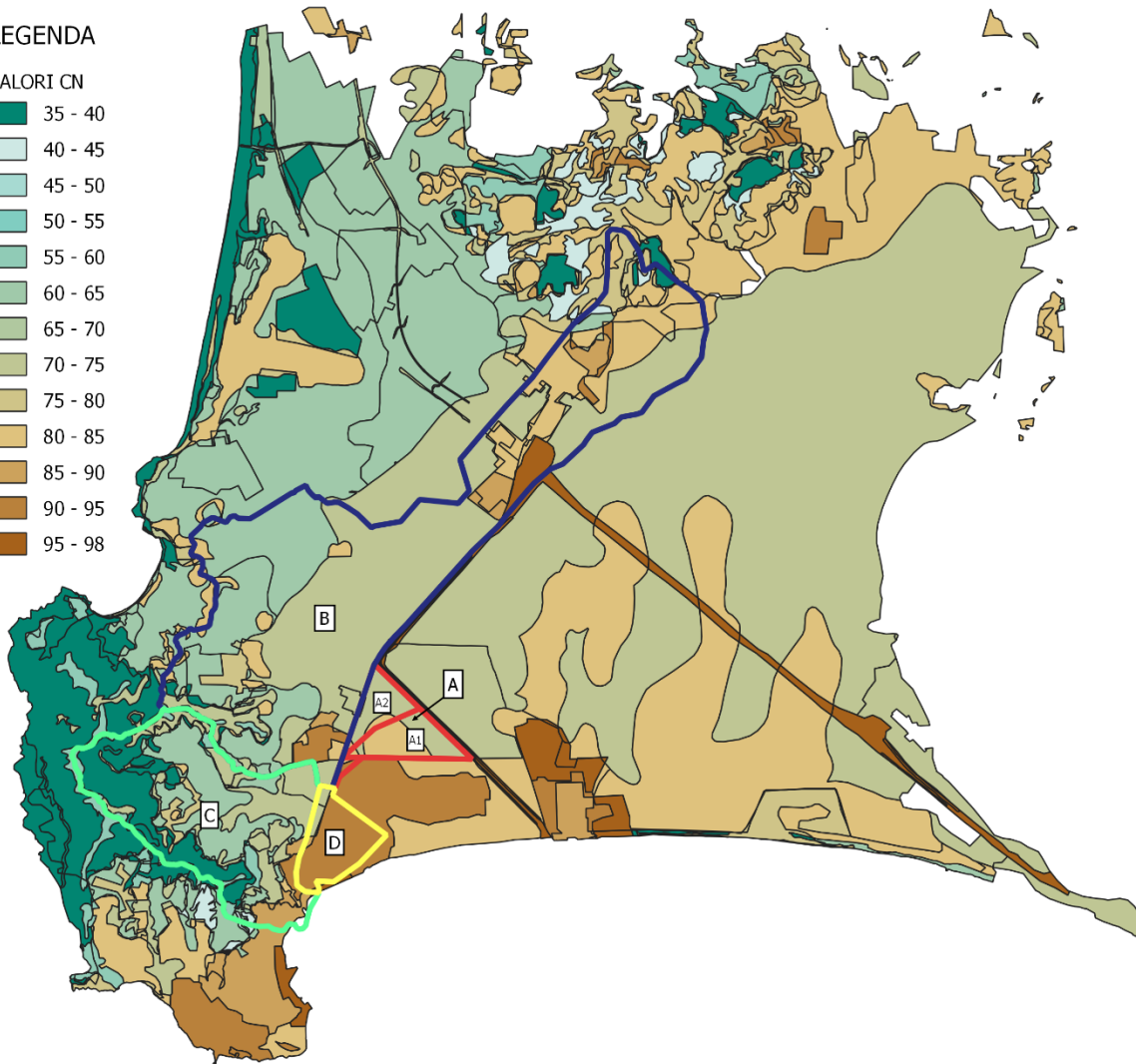


Figura 19 - Mappa uso del suolo bacino di interesse.

RELAZIONE IDROLOGICA

Bacino	Zona	CN	Area (kmq)	Atotale	CN x A	Σ CN x A	CN (medio)
A	Seminativi in aree non irrigue	73	1.14	1.90	82.93	146.77	77
	Sistemi colturali e particellari permanenti	84	0.76		63.84		
A+B	Colture permanenti	76	5.23	27.15	397.78	1989.06	73
	Colture permanenti	43	0.12		5.15		
	Seminativi in aree non irrigue	73	6.83		498.62		
	Zone boscate	79	0.11		9.01		
	Zone boscate	36	0.23		8.14		
	Colture permanenti	82	0.25		20.50		
	Seminativi in aree non irrigue	84	2.58		216.59		
	Zone agricole eterogenee	61	7.23		440.79		
	Sistemi colturali e particellari permanenti	81	0.19		15.50		
	Aree industriali o commerciali	93	1.35		125.83		
	Aree industriali o commerciali	88	0.77		68.16		
	Aree industriali o commerciali	92	0.07		5.98		
	Tessuto urbano discontinuo	85	1.61		136.54		
	Zone boscate	60	0.27		15.90		
Zone urbanizzate	77	0.32	24.57				
A+B+D	Colture permanenti	76	5.23	28.70	397.78	2131.66	74
	Colture permanenti	43	0.12		5.15		
	Seminativi in aree non irrigue	73	6.90		503.73		
	Zone boscate	79	0.11		9.01		
	Zone boscate	36	0.23		8.14		
	Colture permanenti	82	0.25		20.50		
	Seminativi in aree non irrigue	84	2.58		216.59		
	Zone agricole eterogenee	61	7.23		440.79		
	Sistemi colturali e particellari permanenti	81	0.19		15.50		
	Aree industriali o commerciali	93	2.80		260.68		
	Aree industriali o commerciali	88	0.80		70.80		
	Aree industriali o commerciali	92	0.07		5.98		
	Tessuto urbano discontinuo	85	1.61		136.54		
	Zone boscate	60	0.27		15.90		
Zone urbanizzate	77	0.32	24.57				
A+B+C+D	Colture permanenti	76	5.47	37.80	416.02	2619.01	69
	Colture permanenti	43	0.19		8.16		
	Seminativi in aree non irrigue	73	8.55		624.10		
	Zone boscate	79	0.11		9.01		
	Zone boscate	36	4.16		149.65		
	Colture permanenti	82	0.25		20.50		
	Seminativi in aree non irrigue	84	2.60		218.61		
	Zone agricole eterogenee	61	9.56		582.87		
	Sistemi colturali e particellari permanenti	81	0.24		19.63		
	Aree industriali o commerciali	93	2.80		260.68		
	Aree industriali o commerciali	88	1.21		106.88		
	Aree industriali o commerciali	92	0.07		5.98		
	Tessuto urbano discontinuo	85	1.63		138.24		
	Zone boscate	60	0.30		18.00		
Zone urbanizzate	77	0.32	24.57				
Zone boscate	56	0.2	11.20				
Zone boscate	35	0.14	4.90				
A1	Sistemi colturali e particellari permanenti	84	1.07	1.07	89.88	89.88	84
A2	Sistemi colturali e particellari permanenti	84	0.75	0.75	63	63	84

Tabella 3 – Curve Number per i bacini di riferimento.



Formula di Kirpich:

$$t_c = 0.066 * \left( \frac{L^{0.77}}{I^{0.385}} \right)$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione [h];
- $L$  è la lunghezza dell'asta fluviale [km];
- $I$  è la pendenza media del reticolo idrografico [m/m].

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 * (A/I)^{0.50}$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione [h];
- $A$  è l'area del bacino [kmq];
- $I$  è la pendenza media dell'asta fluviale [m/m].

Formula di Pasini:

$$t_c = \frac{0.108 * (A * L)^{1/3}}{I^{1/2}}$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione [h];
- $A$  è l'area del bacino [kmq];
- $L$  è la lunghezza dell'asta fluviale [km];
- $I$  è la pendenza media dell'asta fluviale [m/m].

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 * A^{1/2} + 1.5 * L}{0.8 * (H_m - H_0)^{1/2}}$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione [h];
- $A$  è l'area del bacino [kmq];
- $L$  è la lunghezza dell'asta fluviale [km];

RELAZIONE IDROLOGICA

- $H_m$  è l'altezza media del bacino [m];
- $H_0$  è l'altezza del bacino alla sezione di chiusura [m].

I calcoli idrologici del tempo di corrivazione e delle portate al colmo vengono chiaramente riferiti alla sezione di chiusura, la cui ubicazione, così come la perimetrazione dei relativi bacini idrografici, è riportata *TOO/D00/DR/CO01A - Corografia dei bacini idrografici*.

Nella Tabella 4 sono riportati i principali parametri morfologici e fisiografici dei bacini necessari alla stima dei tempi di corrivazione.

Sez. chiusura	Bacini	Lunghezza asta	Denominazione corso d'acqua	Area bacino	I media asta	I media bacino	H0 sez. chiusura	Hmax bacino	Hmedia bacino	Hmax asta	CN
N	CODICE	m		kmq	m/m	%	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	-
1	A	2210.6	Fosso Vecchia Cornia	1.9	0.0008	1.20	0.0	3.0	2.2	1.8	77
3	A+B	11100.0	Fosso Vecchia Cornia	27.15	0.0120	4.20	0.0	161.0	14.0	130.0	73
5	A+B+D	13193.8	Fosso Vecchia Cornia	28.7	0.0100	4.00	0.0	144.3	13.4	130.0	74
6	A+B+C+D	13193.8	Fosso Vecchia Cornia	37.8	0.0100	7.1	0.0	283.3	27.6	130.0	69
a	A1	1943.5	Fosso Base Geodetica	1.07	0.0003	0.8	0.0	3.0	1.8	0.5	84
b	A2	1557.3	Fosso Vecchia Cornia	0.75	0.0012	1.5	0.0	3.0	2.6	1.8	84

Tabella 4 - Caratteristiche morfologiche e fisiografiche dei bacini idrografici.

Attraverso la stima di tali parametri si è quindi proceduto alla stima dei tempi di corrivazione nelle diverse sezioni di chiusura attraverso le relazioni precedentemente descritte, riportata nella Tabella 5. Dal confronto dei risultati è stato assunto come valore di progetto il valore corrispondente alla formulazione di SCS.

Sez. chiusura	Bacini	Lunghezza asta	Denominazione corso d'acqua	Ventura	Pasini	Kirpich	Giandotti	SCS	Adottato
N	CODICE	m		h	h	h	h	h	h
1	A	2210.6	Fosso Vecchia Cornia	6.2	6.2	1.9	7.4	1.6	1.6
3	A+B	11100	Fosso Vecchia Cornia	6.1	6.6	2.3	12.5	3.4	3.4
5	A+B+D	13193.8	Fosso Vecchia Cornia	6.8	7.8	2.8	14.1	3.9	3.9
6	A+B+C+D	13193.8	Fosso Vecchia Cornia	7.8	8.6	2.8	10.6	3.3	3.3
a	A1	1943.5	Fosso Base Geodetica	8.3	8.7	2.7	6.6	1.4	1.4
b	A2	1557.3	Fosso Vecchia Cornia	3.2	3.3	1.2	4.5	0.8	0.8

Tabella 5 - Stima dei tempi di corrivazione ed individuazione di quello di progetto.

### 3.2 CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA PUNTUALE

La stima degli afflussi meteorici sui bacini e conseguentemente il calcolo dell'altezza di pioggia puntuale di assegnato tempo di ritorno viene effettuato attraverso la valutazione delle Curve di Possibilità Climatica dell'area in studio, metodologia di regionalizzazione della Regione Toscana.

Attraverso l'intersezione in ambiente Arcgis dei poligoni dei bacini idrografici con grid (maglia 1000 m x 1000m) parametri pluviometrici a [mm/h] ed n [adim.], per i diversi tempi di ritorno, mediando rispetto alle aree del bacino idrografico in corrispondenza della foce (sezione di

chiusura n.6), si sono ottenute per l'area in studio le seguenti Curve di Possibilità Pluviometrica (CCP) riportate nella Tabella 6.

Tr	a	n
anni	mm/h	adim
20	54.6	0.2
30	59.27	0.27
50	65.31	0.29
100	73.75	0.31
200	82.45	0.33
500	94.73	0.34

Tabella 6 - Curve di Possibilità Pluviometrica per il bacino Vecchia Cornia.

Nella Tabella 7 sono invece riportate le altezze di pioggia lorde, riferite ai tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni, per il tempo di pioggia critico pari al tempo di corrivazione.

Sez. chiusura	tc	h30	h50	h100	h200	h500
N	h	mm	mm	mm	mm	mm
1	1.55	66.72	74.17	84.49	95.29	109.97
3	3.38	82.35	92.98	107.59	123.25	143.34
5	3.87	85.40	96.68	112.17	128.84	150.05
6	3.33	82.02	92.58	107.09	122.64	142.61
a	1.37	64.56	71.59	81.36	91.53	105.50
b	0.84	56.54	62.08	69.86	77.83	89.26

Tabella 7 - Altezze di precipitazione lorde (T, 30, 50, 100, 200 e 500 anni) per un tempo di pioggia pari a tc.

### 3.3 RAGGUAGLIO DELLE PIOGGE ALL'AREA

Per tener per tenere conto della non uniformità delle precipitazioni sulle superfici interessate è stato introdotto un coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area.

Tale parametro è stato modellato attraverso la relazione riportata nella Regionalizzazione delle Piene della Regione Toscana, fornita da:

$$K_r = 1 - \exp(at^\beta) + \exp(at^\beta - \gamma A)$$

in cui:

- t è la durata della pioggia [h];
- A è la superficie del bacino [m];
- $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  parametri dipendenti a ed n, che nel bacino in esame assumono i valori riportati nella Tabella 8.

RELAZIONE IDROLOGICA

$\alpha$	0.78
$\beta$	0.25
$\gamma$	0.001

Tabella 8 - Parametri di ragguaglio delle altezze di precipitazione per il bacino Vecchia Cornia.

### 3.4 CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume della piena, viene effettuato in base al metodo del Curve Number, formulato dal Soil Conservation Service nel 1972, già sopra brevemente descritto.

Come esposto, tale metodo mette in relazione l'altezza  $H$  di pioggia afflitta con l'altezza di pioggia netta  $h_n$  defluita in rete, attraverso la seguente formula:

$$h_{netta}(t) = \frac{[H(t) - I]^2}{H(t) - I + S}$$

dove:

- $S$  rappresenta la massima ritenzione potenziale del bacino ed è funzione del tipo di terreno, del suo grado di saturazione e dell'uso del suolo, e viene espresso sotto la forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

in cui, CN o "Runoff Number" è il coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino che sono state classificate dallo U.S. Soil Conservation Service e precedentemente definito per ciascun bacino di interesse.

- $I$  è lo spessore totale di pioggia ritenuto fra  $t=0$  e l'istante di raggiungimento del ponding; viene espresso come:

$$I = 0.20 * S$$

### 3.5 CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO

Il calcolo della portata al colmo deve essere determinato sulla base di una forma predefinita di idrogramma e quindi uguagliando l'apporto meteorico efficace al volume di deflusso.

La forma dell'idrogramma qui proposta è quella del Ghirardelli, ossia il classico idrogramma triangolare, avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione.

Pertanto il valore della portata al colmo risulta:

$$Q_c = \frac{r * h_n * A}{3.6 * t_c}$$

RELAZIONE IDROLOGICA

dove:

- $Q_c$  è la portata al colmo [mc/s];
- R è il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino [adim.];
- $h_n$  è la pioggia netta [mm];
- A è la superficie del bacino [kmq];
- $t_c$  è il tempo di corrivazione [h].

I valori delle portate al colmo per i tempi di ritorno pari a  $T_r = 30, 50, 100, 200$  e 500 anni, per le diverse sezioni di chiusura del fosso Vecchia Cornia, sono riportate nella Tabella 9.

Tali valori saranno assunti per le analisi di compatibilità idraulica effettuate nell'ambito dello studio idraulico.

Sez. chiusura	A	tc	Pioggia lorda ragguagliata					Pioggia netta					Kr	Q30	Q50	Q100	Q200	Q500
			h30	h50	h100	h200	h500	h30	hn50	hn100	hn200	hn500						
N	kmq	h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
1	1.9	1.6	66.7	74.17	74.17	95.29	109.97	20.85	25.81	33.10	41.15	52.65	0.9955	12.6	14.9	18.3	22.0	27.2
3	27.2	3.4	82.4	92.98	92.98	123.25	143.34	25.65	32.74	43.15	55.00	71.00	0.9227	52.9	67.5	88.97	113.40	146.40
5	28.7	3.9	85.4	96.68	96.68	128.84	150.05	29.10	36.98	48.47	61.52	78.92	0.9155	54.9	69.8	91.46	116.10	148.93
6	37.8	3.3	82.0	92.58	92.58	122.64	142.61	20.22	26.46	35.80	46.57	61.35	0.8936	57.0	74.5	100.83	131.19	172.81
a	1.1	1.4	64.6	71.59	71.59	91.53	105.50	29.17	34.76	42.80	51.45	63.67	0.9974	6.5	7.7	9.50	11.42	14.14
b	0.8	0.8	56.5	62.08	62.08	77.83	89.26	23.06	27.25	33.36	39.86	49.50	0.9983	6.1	7.2	8.82	10.53	13.08

Tabella 9 - Portate al colmo e contributi unitari ( $T_r 30, 50, 100, 200$  e 500 anni) per diverse sezioni di chiusura del Vecchia Cornia