

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A.  
DIREZIONE INVESTIMENTI

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI FIRENZE  
S.O. INGEGNERIA

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PISTOIA - LUCCA - VIAREGGIO/PISA  
RADDOPPIO DELLA LINEA PISTOIA - LUCCA - PISA S.R.  
TRATTA PESCIA - LUCCA

5 - IDROLOGIA E IDRAULICA  
Relazione Idrologica

SCALA -

Foglio

di

PROGETTO/ANNO

SOTTOPR.

LIVELLO

NOME DOC.

PROGR.OP. FASE FUNZ.

NUMERAZ.

1 3 4 6 P O

S 1 1

P D

T G I D

0 0

0 1

E 0 0 1

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima emissione	G.Tanzi	18/09/2018						

POSIZIONE ARCHIVIO

LINEA

L 5 4 2

SEDE TECN.

L O 1 1 1 6

NOME DOC.

T B 0 0

NUMERAZ.

1 0 / 0 1

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E001.dwg

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
1.1	OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	3
<b>2</b>	<b>SINTESI TECNICO DESCRITTIVA</b> .....	<b>4</b>
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....	4
2.2	MORFOLOGIA.....	5
2.3	IDROGRAFIA.....	6
2.4	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	7
2.4.1	<i>Enti Competenti</i> .....	7
2.4.2	<i>Inquadramento Normativo</i> .....	8
2.4.3	<i>Documenti e dati da siti di pubbliche amministrazioni o enti pubblici</i> .....	9
2.5	IDENTIFICAZIONE OPERE IDRAULICHE ESISTENTI .....	9
2.6	IDENTIFICAZIONE MISURE STRUTTURALI PREVISTE.....	10
2.7	PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	13
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b> .....	<b>15</b>
3.1	IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA .....	15
3.2	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI (SIR TOSCANA).....	18
3.2.1	<i>Regionalizzazione dei dati di pioggia</i> .....	18
3.2.2	<i>Calcolo della pioggia di progetto su un Bacino Idrografico</i> .....	20
3.3	STIMA DELLE PORTATE.....	21
3.3.1	<i>Il metodo SCS per le perdite idrologiche</i> .....	21
3.3.2	<i>Calcolo del tempo di Corrivazione</i> .....	26
3.3.3	<i>Formazione della piena</i> .....	26
3.3.4	<i>Propagazione delle onde di Piena</i> .....	28

Mandataria

Mandanti

---

3.4	MODELLAZIONE IDROLOGICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI .....	29
3.4.1	<i>Risultati Corsi d'acqua Secondari</i> .....	31
3.4.2	<i>Risultati Corsi d'acqua Principali</i> .....	32
3.5	MODELLAZIONE IDROLOGICA ATTRAVERSAMENTI MINORI.....	37
<b>4</b>	<b>ANALISI DEI VINCOLI DEL RISCHIO IDRAULICO .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>ALLAGATI.....</b>	<b>39</b>
5.1	ALLEGATO 1 : OPERE IDRAULICHE ESISTENTI .....	39
5.2	ALLEGATO 2: OPERE IDRAULICHE IN PREVISIONE .....	40

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi alle interferenze del raddoppio dell'asse ferroviario in progetto con il reticolo idrografico di superficie.

### 1.1 Obiettivi dello Studio

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

Vengono quindi presentati da una parte la sintesi delle attività di indagine svolte al fine di individuare le curve di probabilità pluviometrica rappresentative delle aree in questione, dall'altra le analisi e le considerazioni che hanno condotto alla scelta della metodologia per la determinazione delle portate di progetto e i risultati della stessa, distinguendo i vari casi di attraversamenti maggiori e di attraversamenti minori.

La valutazione delle portate al colmo di piena è stata effettuata con riferimento ai metodi regionali sviluppati nello studio "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" effettuato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze a seguito dell'accordo di collaborazione scientifica con la Regione Toscana nell'ambito delle "Attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana".

Mandataria

**TECH** | PROJECT  
ingegneria integrata ®



Mandanti



## 2 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

### 2.1 Inquadramento Generale dell'area

L'area interessata dal presente lavoro si colloca nella parte settentrionale della regione Toscana, tra le province di Pistoia e Lucca. I comuni interessati sono Pescia, Montecarlo, Altopascio, Porcari, Capannori e Lucca.

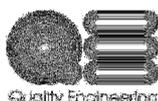
Quest'area comprende tutti i corsi d'acqua che confluiscono, da nord verso sud, nella conca del "Padule di Fucecchio" al confine con la provincia di Firenze. Si tratta di una zona caratterizzata da importanti opere di bonifica dei terreni palustri delle conche di Fucecchio e Bientina. Il reticolo idrografico risulta quindi sostanzialmente artificiale ad eccezione dei ridotti tratti collinari e montuosi del reticolo collocati a nord (rilievi preappenninici) e a est (Monte Montalbano). A ovest il territorio lascia spazio alla Piana di Lucca, della quale può essere considerata la continuazione orientale. A sud/sud-ovest l'area è limitata dal rilievo dei Monti Pisani e dalle Colline delle Cerbaie, elemento caratterizzante sia dal punto di vista strutturale che storico-archeologico-paesaggistico, risalente al periodo pliocenico e originatesi dal rialzamento tettonico dell'ex lago di Bientina.

L'area in esame prende origine a nord dalla Valdnievole (cd. "Vallis Nebulae", valle della nebbia o delle nuvole, a causa del terreno paludoso poi bonificato) attraverso la quale le acque del T. Nievole si fondono prima, nel Padule di Fucecchio, con quelle del Pescia di Pescia, e Pescia di Collodi; quindi con i corsi d'acqua provenienti dal Montalbano, dando origine al canale Maestro (di natura antropica, posto nel Comune di Fucecchio). Il canale Maestro, dopo il ponte di Cappiano - importantissima opera idraulica realizzata ad opera di Cosimo I de' Medici nel 1550 con lo scopo di regolare i deflussi, la navigazione e le attività di pesca nel padule -, diventa canale di Usciana e scorre parallelamente all'Arno per circa 18 km. In origine, l'Usciana confluiva in Arno presso Pontedera attraverso delle cateratte che avevano il compito di evitare il rigurgito nel canale delle acque in piena dell'Arno. Negli anni '80 è stato costruito un canale aggiuntivo di 4km che disconnette il canale Usciana dall'Arno e fa defluire le sue acque nello Scolmatore dell'Arno mediante una bocca sifone realizzata sotto l'Arno, immediatamente a valle dell'incile dello Scolmatore.

Nell'area a ovest la regimazione idraulica ha caratterizzato, fin dai secoli scorsi, tutta l'idrografia della piana lucchese. Prima con la regimazione dei canali Ozzeri-Rogio e Ozzeretto, poi con la bonifica del lago di Sesto-Bientina conclusasi nel 1930, e quindi la realizzazione del canale Fossa Nuova, conseguente al procedere delle colmate di Porcari, per regimare le acque provenienti dal monte Serra. In particolare il bacino idrografico, prima della bonifica tributario dell'Arno, raccoglie alcuni torrenti dei Monti Pisani ed altri provenienti dalle Pizzorne e dalle Cerbaie; tutte le acque confluiscono infine nel canale Emissario di Bientina (inizio area omogenea 8), poco a nord dell'abitato di Bientina. Il canale infine, passando anche lui sotto il letto dell'Arno a San Giovanni alla Vena attraverso una botte sifone realizzata con una imponente opera idraulica verso la metà del 1850, raggiunge, correndone quasi parallelamente, il canale Scolmatore d'Arno in prossimità del suo sbocco in mare.

I corsi d'acqua mostrano una molteplice varietà nelle caratteristiche fisiografiche. Sono, infatti, presenti corsi d'acqua con caratteristiche prettamente torrentizie nella parte montana e collinare per quanto attiene, ad esempio, la pendenza ed il grado di confinamento, altri con proprietà di fondovalle, con pendenze mediamente inferiori allo 0.5% e reticolo non confinato, altri ancora con aspetti specifici da reticolo di bonifica, quali pendenze molto basse, lunghi tratti rettificati ed arginati, portelle, derivazioni, etc.

Mandataria



Mandanti



Tale variabilità nei valori di pendenza si riflette anche sui singoli sottobacini presenti nell'area omogenea. Secondo il criterio generale sono stati suddivisi i bacini sottesi ai corpi idrici principali in bacini con caratteristiche prevalenti montane oppure vallive.

## 2.2 Morfologia

Il tracciato ferroviario, nella tratta qui in oggetto, si sviluppa quindi nella zona settentrionale della Regione Toscana, a partire dalla Val di Nievole (all'estremità SO della provincia di Pistoia) attraverso la dorsale dell'Altopiano delle Cerbaie e dei rilievi di Montecarlo e Altopascio fino ad arrivare alla pianura di Lucca.

La morfologia dell'area è variabile da pianeggiante a collinare. Le aree di pianura sono due: la pianura di Lucca, delimitata a ovest dai Monti Pisani, e più a est la pianura di Pescia, delimitata ad est dalla dorsale del Monte Albano, che la separa dalla pianura di Pistoia. A nord entrambe la piana è delimitata dai primi rilievi appenninici; a sud e a ovest la pianura di Lucca è delimitata dai Monti Pisani. Separano le due aree pianeggianti i rilievi di Montecarlo e Altopascio, che sono collocati lungo una dorsale disposta Nord - Sud.

Da Pescia a Lucca il tracciato ferroviario resta compreso tra le quote di 60 m s.l.m. e 12 m s.l.m. circa, attraversando la zona compresa tra il bacino idrografico del Fiume Serchio a Nord e quello del Fiume Arno a Sud; in quest'ultimo confluiscono i due corsi d'acqua principali dell'area: il Torrente Pescia/Pescia di Collodi ed il Torrente Nievole. Tra i corsi d'acqua minori ci sono il Torrente Borra, il Torrente Cessana, il Rio Dilezza di Collodi, il Rio Puzzola, il torrente Fossanuova, il Rio Frizzone ed il Rio Arpino.

In sintesi, partendo da est, il tracciato ferroviario attraversa:

- la zona pedemontana al limite della pianura di Pescia,
- i rilievi di Montecarlo e Altopascio a Nord dell'altopiano delle Cerbaie;
- la pianura di Lucca.

La configurazione morfologica generale dell'area è notevolmente influenzata dall'evoluzione tettonica che ha portato alla formazione della depressione fluvio – lacustre di Lucca – Montecarlo – Vinci, interrotta dai rilievi di Montecarlo e Altopascio. Tale depressione è delimitata a Nord dai primi rilievi appenninici.

Nella sua prima parte, da Pescia ad Altopascio, la tratta ferroviaria in oggetto attraversa un territorio collinare, interrotto dalle conoidi del Torrente Borra e dei fiumi Pescia di Pescia e Pescia di Collodi, e si sviluppa a quote comprese tra 60 e 20 m s.l.m. circa. Fino al Comune di Pescia, la linea ferroviaria passa ai piedi dei primi rilievi appenninici, costituiti essenzialmente dalle arenarie del Macigno, quindi sulle conoidi dei torrenti citati, caratterizzate dalla presenza di terrazzi fluviali, per poi tornare in un'area collinare in corrispondenza dei rilievi di Montecarlo e Altopascio.

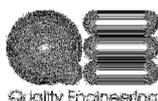
Tali rilievi si configurano come un territorio collinare, con elevazione massima di 163 m s.l.m. (raggiunta alla vetta del Montecarlo), inciso da numerose piccole valli e impluvi.

Nella seconda parte, da Porcari a Lucca, la tratta ferroviaria in oggetto attraversa la piana di Lucca: il territorio diventa quindi pianeggiante, con quote all'incirca costanti comprese tra 17 e 12 m s.l.m.

In epoca storica, le opere idrauliche e di colmata/bonifica eseguite a più riprese nelle aree di pianura hanno modificato in modo importante l'originario assetto del territorio. Importanti testimonianze ancora preservate degli antichi ambienti lacustri e paludosi sono le aree

Mandataria

**TECH** | PROJECT  
ingegneria integrata ®



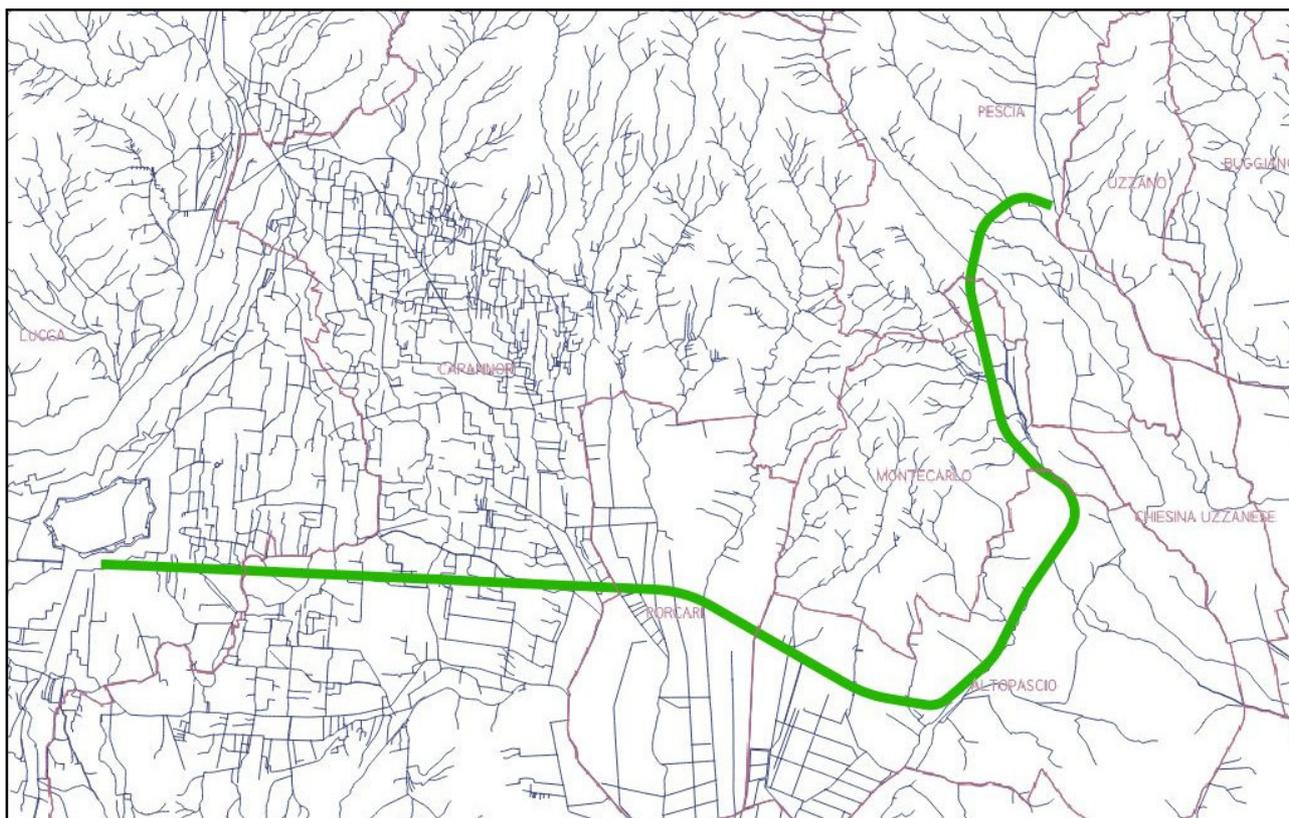
Mandanti



umide del Padule di Fucecchio, pochi chilometri a Sud-Est dell'area di interesse, e del più piccolo lago di Sibolla, nel Comune di Altopascio.

### 2.3 Idrografia

Nell'area interferita dal raddoppio ferroviario oggetto di questo progetto, il reticolo idrografico è organizzato come mostrato nell'immagine seguente.



**Reticolo Idrografico**

A Est, nella piana della Valdinievole, il deflusso è diretto dalle pendici appenniniche verso Sud-Est. In quest'area sono presenti diversi corsi d'acqua di un certo rilievo: Rio della Dilezza, Rio della Dogana, Fiume Pescia di Collodi, Torrente Puzzola. Inoltre, sono presenti diversi corsi d'acqua minori, in parte rettificati o scavati a scopo irriguo.

A Ovest, nella Piana di Lucca, il corso d'acqua principale è il Fiume Serchio, che scorre a Nord di Lucca. Nella piana sono tuttavia presenti alvei in parte rettificati, e canali e fossi scavati ex novo a scopo irriguo, che attraversano l'area da Nord verso Sud: Torrente Tazzera, Rio Leccio, Rio Ralletta, Rio Ralla, Rio Quinto, Fossa Nuova, Rio del Frizzone, Rio Arpino, Canale Ozzoretto. I deflussi provenienti dal complesso sistema idraulico appena descritto (dai versanti settentrionali del monte pisano e dalla piana di Lucca) sono raccolti dal Canale Ozzeri, che li raccoglie e li convoglia verso due sbocchi distinti: verso ovest lungo il 'nuovo' tracciato (risalente all'inizio del secolo scorso) che scorre in provincia di Pisa fino allo sbocco di Rigoli (San Giuliano Terme) e verso est lungo il Canale Rogio,

Mandataria

Mandanti

verso l'area di bonifica di Bientina e da qui, tramite l'opera di sottoattraversamento dell'Arno, fino al recapito finale nel Canale Scolmatore d'Arno.

Nei rilievi di Montecarlo e Altopascio sono presenti alcuni corsi d'acqua minori (Rio Lama, Rio di Tassinai, Rio San Gallo) che hanno origine nell'area di Montecarlo e scorrono verso Sud.

A Buggiano e ad Altopascio sono inoltre presenti dei bacini lacustri di varie dimensioni, sia naturali che artificiali.

Per maggiori dettagli riguardanti invece la definizione dei bacini idrografici dei suddetti corsi d'acqua, si rimanda alla Corografia di Inquadramento dei Bacini (elaborato 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E005) e alle tavole di dettaglio (1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E006, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E007, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E008, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E009, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E010).

## 2.4 Riferimenti Normativi

### 2.4.1 Enti Competenti

L'area interessata dal raddoppio ferroviario è un'area che presenta diversi organismi competenti in materia di gestione e pianificazione. In particolare è possibile individuare i seguenti enti:

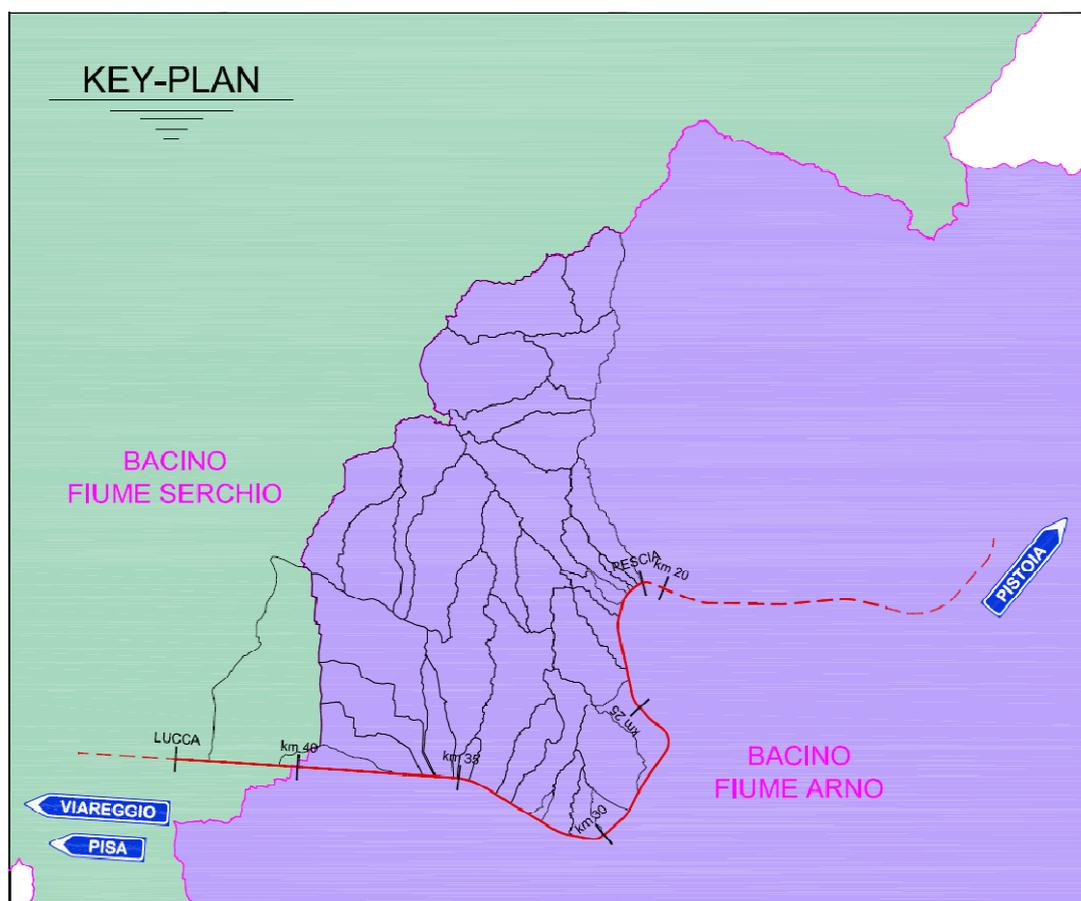
1. Regione Toscana:
  - a. Province:
    - i. Pistoia;
    - ii. Lucca.
  - b. Geni Civili:
    - i. Genio Civile Valdarno Centrale;
    - ii. Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa;
    - iii. Genio Civile Toscana Nord.
2. Autorità di bacino:
  - a. Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale - UoM Arno;
  - b. ex Autorità del Bacino Pilota del fiume Serchio.
3. ConSORZI di bonifica:
  - a. 1\_Toscana Nord
  - b. 4\_Basso Valdarno (Padule di Fucecchio)
4. Comuni:
  - a. Pescia;
  - b. Montecarlo;
  - c. Altopascio;
  - d. Porcari;
  - e. Capannori;
  - f. Lucca.

Mandataria

Mandanti

### 2.4.2 Inquadramento Normativo

L'area interessata dal presente lavoro ricade sotto l'Autorità di Bacino Distretto Appennino Settentrionale che ha recentemente inglobato l'ex Autorità di Bacino del Fiume Serchio (Macroarea 2) per quanto riguarda la zona di Lucca, e l'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Area Omogenea n°6) per la restante parte.



**Autorità di Bacino**

Gli approfondimenti necessari allo studio idrologico e idraulico e alla valutazione delle condizioni di rischio conseguenti la realizzazione dell'opera in esame, sono stati effettuati facendo riferimento alle seguenti norme:

- Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Arno (P.A.I. 11/11/2004);
- Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Pilota del Fiume Serchio (P.A.I. 09/03/2005);
- Legge Regionale n. 21/2012 della Regione Toscana- "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua";
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'ex Distretto Idrografico del fiume Serchio (P.G.R.A. 03/03/2016);

Mandataria

**TECH** PROJECT  
ingegneria integrata ®



Mandanti



**ambiente**  
ingegneria ambientale e laboratori

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale (P.G.R.A. 06/03/2016 - UoM Arno);

Sono stati inoltre tenuti in considerazione i Regolamenti Urbanistici (R.U.) e i rispettivi aggiornamenti dei comuni interessati dal raddoppio dell'opera.

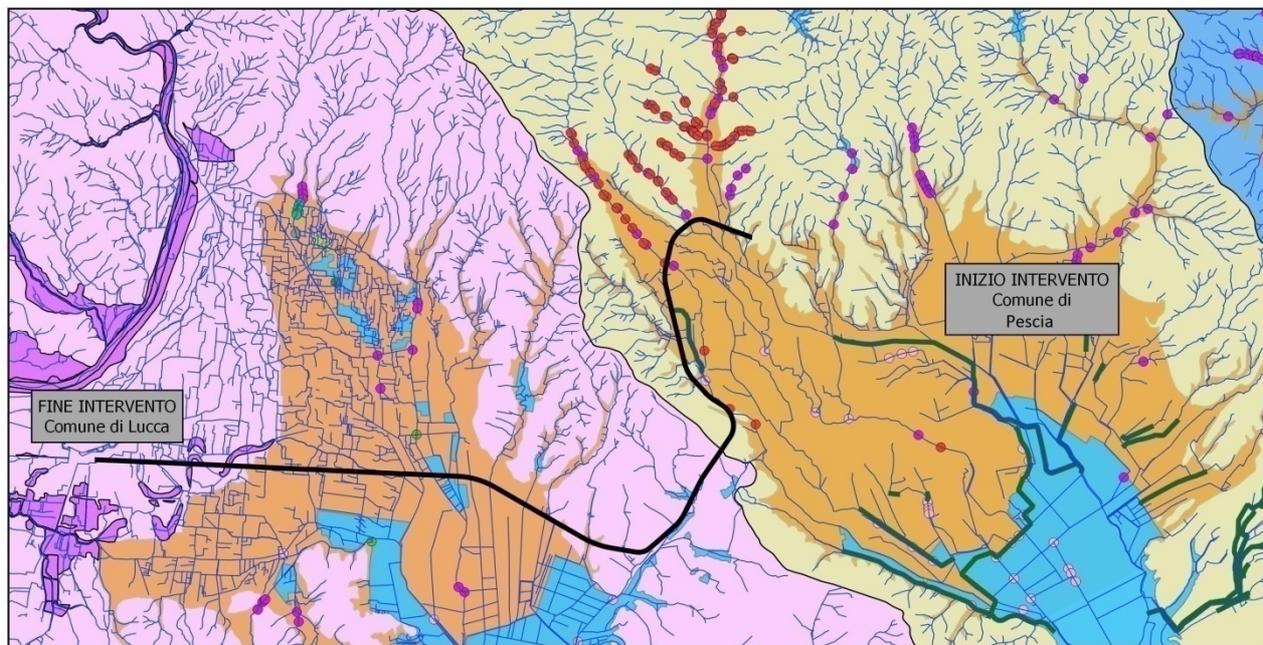
#### 2.4.3 Documenti e dati da siti di pubbliche amministrazioni o enti pubblici

Di seguito sono riportati i siti internet degli enti competenti da cui sono stati scaricati dati e documenti ufficiali utilizzati per il presente studio:

- Regione Toscana: [www.regione.toscana.it](http://www.regione.toscana.it)
- SIR - Servizio Idrologico della Regione Toscana: [www.sir.toscana.it](http://www.sir.toscana.it)
- GEOscopio - Informazione Geografica: [www.regione.toscana.it/-/geoscopio](http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio)
- Distretto Appennino Settentrionale: [www.appenninosettentrionale.it](http://www.appenninosettentrionale.it)
- Autorità di Bacino del Fiume Arno: [www.adbarno.it](http://www.adbarno.it)
- Autorità di Bacino del Fiume Serchio: [www.autorita.bacinoserchio.it](http://www.autorita.bacinoserchio.it)

## 2.5 Identificazione Opere Idrauliche Esistenti

La complessità dell'area d'intervento ha richiesto un'analisi approfondita delle opere idrauliche presenti sul reticolo idrografico che interferisce con il raddoppio della ferrovia. I Geni Civili (Toscana Nord e Toscana Centro) competenti forniscono mappe interattive tramite le quali è possibile individuare tutte le opere idrauliche presenti sul territorio (Censimento 2015 - DGRT 108/2015). L'immagine seguente è uno stralcio della mappa risultante.



**Opere esistenti: Stralcio Allegato1**

Per maggiori dettagli si rimanda all'**Allegato1**.

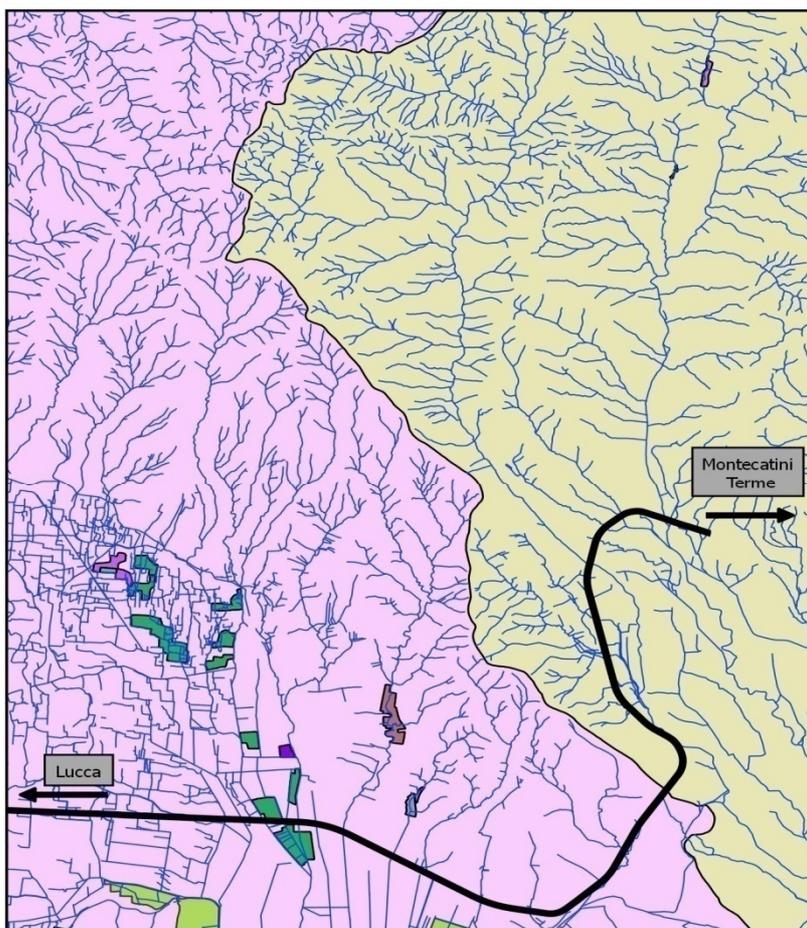
Mandataria

Mandanti

## 2.6 Identificazione Misure Strutturali Previste

L'area in esame risulta essere estremamente complessa dal punto di vista idraulico e le misure fin ora adottate (sia strutturali che non) non risultano sufficienti a garantire l'adeguatezza del reticolo idrografico esistente al deflusso delle acque meteoriche.

Il PGRA dell'Arno inserisce questa zona nell'Area Omogenea 6 ("Area n. 6 Tirrenica – Bacini lacustri Bientina Fucecchio"). Di seguito è riportata la carta degli interventi volti a mitigare il rischio idraulico della zona a monte della ferrovia. Per maggiori dettagli si rimanda all'**Allegato2**.



### Opere Previste: Stralcio Allegato2

Nella tabella che segue, si riportano gli interventi di "Protezione" previsti dal PGRA volti a mitigare le condizioni di rischio nell'area a monte della ferrovia.

E' opportuno specificare che con la dizione "Aggregata" si intendono le misure che sono riferibili a numerosi interventi di tipo diffuso tesi, al riequilibrio delle condizioni naturali, o ad interventi di tipo manutentivo, o ad azioni di riqualificazione fluviale tese al recupero distribuito della capacità di laminazione, o ad interventi di regimazione dei versanti.

Mandataria

Mandanti

Cod. Misure	Descrizione	Aspetto	Cod. tipo/PGRA	Obiettivo	Priorità	Attuazione
P030	Cassa di espansione sul Rio Leccio	Singola	M32	1,2,3,4	Alta	Planning On-Going
P031	Cassa di Espansione sul Rio Caprio (lotti di completamento)	Singola	M32	1,2,3,4	Alta	Planning On-Going
P032	Cassa di espansione sul Rio Tazzera	Singola	M32	1,2,3,4	Alta	Planning On-Going
P033	Ulteriori interventi strutturali previsti dal PSRI nei bacini afferenti il Padule Bientina	Aggregata	M32	1,2,3,4	Alta	Not started
N026	Interventi di stabilizzazione in alveo nei bacini afferenti il Padule Fucecchio presenti nel PSRI	Aggregata	M33	1,2,3,4	Critica	Not started
R043	Cassa di espansione sul Rio Carpio	Singola	M32	1,2,3,4	Alta	On Going Construction
R044	Cassa di espansione sul Rio Ralla	Singola	M32	1,2,3,4	Alta	On Going Construction
R073	Sistemazione idraulica del Torrente Pescia	Aggregata	M32	1,2,3,4	Alta	On Going Construction

L'ultima colonna di destra da una indicazione relativa invece allo stato di attuazione della misura seguendo le specifiche della *Guidance* n. 29: con *not started* si intende una azione non avviata e quindi proposta, con *planning on going* si intende una azione che ha un livello di progettazione e/o di approvazione avanzato, con *on going construction* si intende una misura in realizzazione, con *completed* si intende una misura completata ed attiva.

Il Distretto dell'Appennino Settentrionale prevede la realizzazione di altri interventi di cui, nella tabella seguente, se ne riporta una parte.

#	Interventi	Localizzazione
8	[17644] Bocca tarate n. 1 sul Torrente Pescia di Pontito	[09047012] PESCIA
9	[17645] Bocca tarate n. 2 sul Torrente Pescia di Pontito	[09047012] PESCIA
20	[17740] Cassa di espansione Castruccio (132)	[09046026] PORCARI
21	[17741] Cassa di espansione Castruccio 5 (96)	[09046007] CAPANNORI
22	[17742] Cassa di espansione Castruccio 6 (112)	[09046007] CAPANNORI
23	[17743] Cassa di espansione Castruccio 7 (116)	[09046007] CAPANNORI
342	[18054] Cassa di espansione sul Rio Caprio (87) &ndash: int.62	[09046007] CAPANNORI
343	[18055] Cassa di espansione sul Rio Caprio (87) &ndash: int.63	[09046007] CAPANNORI
344	[18056] Cassa di espansione sul Rio Caprio (completamento)	[09046007] CAPANNORI
345	[18060] Cassa di espansione sul Rio Ralla	[09046026] PORCARI
346	[18061] Cassa di espansione sul Rio Ralla 2 (143)	[09046026] PORCARI
347	[18062] Cassa di espansione sul Rio Ralla 3 (156)	[09046026] PORCARI

#	Interventi	Localizzazione
479	[17634] Bocca tarata sul Rio dell'Asino	[09047012] PESCIA
480	[17635] Bocca tarata sul Rio Torbola	[09047012] PESCIA
502	[18001] Cassa di espansione Quinto (784)	[09046026] PORCARI
503	[18057] Cassa di espansione sul Rio Massa	[09046007] CAPANNORI

Per quanto riguarda l'area ricadente sotto l'ex Autorità di Bacino del Fiume Serchio, ossia quella relativa al sistema idraulico della piana di Lucca afferente ai canali Ozzeri-Ozzoretto-Rogio, il PGRA, partendo dalle previsioni già presenti negli strumenti di pianificazione vigenti (P.A.I., regolamenti urbanistici, P.I.T.), prevede di aumentare la capacità di invaso e laminazione interna anche attraverso interventi di riqualificazione ecologica e riconnessione idraulica tra le aree di laminazione e i canali.

L'area in questione è inserita dal PGRA del Serchio all'interno della "Macroarea 2- Basso corso del Serchio e affluenti". Le misure previste per quest'area sono riportate nella tabella sottostante.

Codice della Misura	Nome della misura	Tipo principale di misura	Classe di Priorità (Critica - Alta - Molto Alta)	Nome Autorità	Stato di attuazione della misura
MA1-2-3_Fer_RidVul	Interventi prioritari di riduzione della vulnerabilità su infrastrutture ferroviarie	M23	Alta	Enti Gestori (RFI)	In corso di realizzazione
PDGA_M39_[MA2_OZZ_AdIdra_b_wfd]	Interventi finalizzati al miglioramento della capacità di laminazione interna al sistema idraulico della piana di Lucca del Canale Ozzeri	M31	Alta	Regione Toscana Provincia di Lucca Consorzio di Bonifica Toscana Nord	Non Avviata

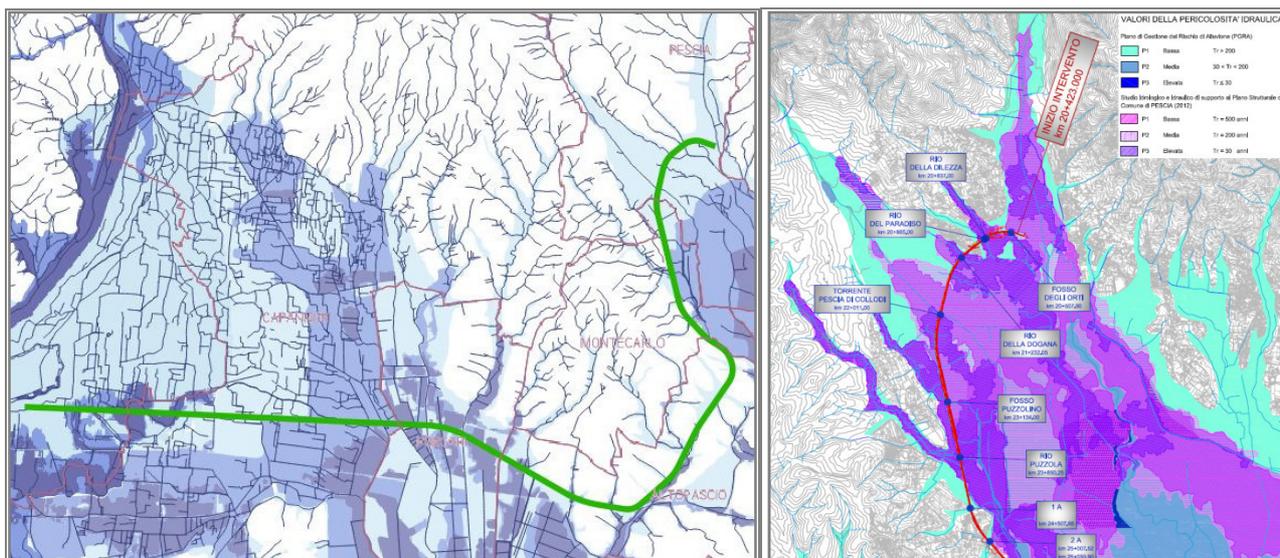
Dall'Allegato D - "Schede delle misure di Piano" (RA\_3\_Valutazione\_Scheda\_8\_Ozzeri) del PGRA del fiume Serchio, si evince che è prevista la costruzione di 3 tipologie di casse di espansione a monte del "pernio" (punto di confluenza tra il canale Ozzoretto, proveniente da nord e il canale Rogio, da cui il Canale Ozzeri inizia il suo corso verso est) ma a valle dell'asse ferroviario (vedi figura seguente). Come mostra la figura seguente, le casse di espansione previste sono poste a valle dell'asse ferroviario; la loro costruzione non avrà effetti benefici diretti sulle condizioni di allagamento della zona di interesse.



Pescia, Buggiano, Massa e Cozzile, Marliana, Montecatini Terme, Monsummano Terme e Larciano per la zona dei rilievi settentrionali e orientali.

Come è possibile notare dall'immagine riportata in fondo al paragrafo, questo tipo di criticità interessano più che altro la zona posta a valle dell'infrastruttura ferroviaria. Tali fenomeni non saranno quindi presi in considerazione nella modellazione idrologico-idraulica.

Per quanto invece riguarda la Macroarea 2 del Bacino del Serchio, la vasta fascia della parte meridionale della piana di Lucca nell'intorno dei Canali Ozzeri - Ozzoretto è un'area che risulta vulnerabile a fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua e presenta una limitata capacità di smaltimento delle acque meteoriche verso i corpi idrici recettori. Il PGRA del Bacino del Serchio inserisce quest'area tra quelle soggette a ristagni e allagamenti in occasione di eventi intensi e concentrati confermando quanto già sottolineato nel P.A.I. che definisce e norma queste zone come ambiti PU (Aree morfologicamente depresse). Come è possibile osservare nell'immagine seguente, quest'area risulta essere classificata prevalentemente come P3 ossia come zona a pericolosità da alluvione elevata, inondabile quindi da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni.



Pericolosità Idraulica: P.G.R.A. 2016 sinistra, Aggiornamento P.S. Comune di Pescia 2012 destra

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E011, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E012, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E013, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E014, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E015, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E016.

Nel corso della progettazione definitiva sono stati effettuati approfondimenti richiesti dal PGRA riguardanti gli effetti *post operam* dei corsi d'acqua interferenti con la nuova opera che ricadono in classe di pericolosità elevata (P3) o media (P2).

In tal senso, si può affermare che, per le aree di studio non vi è un incremento di pericolosità. Per i dettagli si rimanda agli elaborati: 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E017,

Mandataria

Mandanti

1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E018, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E019, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E020, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E021.

### 3 STUDIO IDROLOGICO

Per quanto riguarda lo studio idrologico dell'area in esame, si è proceduto operando un'analisi degli attraversamenti idraulici esistenti. Attraverso un software GIS, in grado di processare i dati territoriali tridimensionali ed effettuare analisi spaziali, si è proceduto alla definizione degli spartiacque dei bacini idrografici afferenti gli attraversamenti maggiori (ponti, ponticelli, tombini ad arco) e, per i bacini più grandi, si è provveduto alla suddivisione in sottobacini.

Per tutti i bacini oggetto di studio sono state determinate le distribuzioni rispetto alla superficie dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche necessarie all'analisi idrologica. Tali ricostruzioni sono state effettuate sovrapponendo le cartografie e le carte tematiche (uso del suolo, parametri a e n, etc.) ai modelli tridimensionali del terreno (DEM), forniti dalla Regione Toscana.

In particolare i dati estrapolati sono i seguenti:

- la superficie di bacini e sottobacini;
- l'altimetria;
- la pendenza;
- la lunghezza dell'asta principale;
- i parametri a e n
- il parametro Land Cover Corinne
- il parametro Curve Number (CN).

#### 3.1 Identificazione della rete Idrografica

Lungo la tratta oggetto di tale studio, il tracciato della linea ferroviaria interseca i tratti terminali di una serie di torrenti, rii e fossi.

Mediante l'uso del software GIS (Qgis con Grass) è stata ricavata la rete idrografica ed i bacini afferenti ai manufatti di attraversamento esistenti della linea ferroviaria.

Nella tabella seguente sono riportati i bacini idrografici relativi alle opere di attraversamento maggiori con le progressive di progetto su cui ricadono le sezioni di chiusura.

ID	COMUNE	Progressive di PROGETTO	TOPONIMO	Manufatto Esistente
1	PESCIA	20+507.90	Fosso degli Orti	Ponte ad impalcato 9.40m
2		20+837.00	Rio della Dilezza	Opera esistente tombata
3		20+865.00	Rio del Paradiso	Opera esistente tombata
4		21+232.05	Rio della Dogana	Ponte ad impalcato 4 m
5		22+011.00	Torrente Pescia di Collodi	ponte a 2 campate
6	MONTECARLO	23+134.00	Fosso Puzzolino	ponte ad arco 4 m
7		23+850.25	Rio Puzzola	ponte ad arco (9,42)
1A		24+523.00	Fosso 1A	
2A		25+007.90	Fosso 2A	Ponticello L=3m

Mandataria

Mandanti

ID	COMUNE	Progressive di PROGETTO	TOPONIMO	Manufatto Esistente
8	ALTOPASCIO	28+572.60	Rio Lama - Rio Tassinaià	Ponte ad arco 5 m
3A		29+301.95	Fosso 3A	Tombino ad arco
9		30+735.80	Fosso Ceragio	Ponticello ad arco 2 m
10		31+621.00	Fosso Nero	ponte ad arco 2.9 m
11		32+657.40	Rio San Gallo (Rapecchio)	Ponte ad arco 3.1 m
12		33+363.30	Torrente Tazzera	Ponte ad impalcato 4.8 m
13	PORCARI	34+336.30	Rio Leccio	Ponte ad impalcato 6.1 m
14		34+830.45	Rio Ralletta	Ponticello ad arco 3 m
15		35+136.85	Rio Ralla	Ponte ad impalcato
16		35+397.50	Rio Quinto	Ponte ad impalcato 3 m
17		35+727.90	Fossa Nuova	Ponte ad arco 3 m
18	CAPANNORI	36+096.40	Rio del Frizzone	Ponte ad impalcato 3.4 m
19		36+379.45	Rio Arpino	Tombino ad arco 4,6 m
20		40+579.85	Canale Ozzoretto	Ponte ad impalcato
		41+195.00	Canale Ozzoretto	Ponte ad impalcato
	LUCCA	41+570.00	Canale Ozzoretto	Ponte 5.9 m

La rete ed i bacini idrografici relativi a tali attraversamenti sono riportati nelle corografie allegate (elaborati: 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E005, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E006, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E007, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E008, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E009, 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E010).

L'attraversamento relativo al Fosso degli Orti (progr. 20+507.90) non viene analizzato in quanto ricade nel piano di Stazione di Pescia dove viene effettuata solamente una ripresa di binari: l'opera esistente non viene quindi modificata dal presente progetto.

Le caratteristiche geometriche dei bacini idrografici quali la suddivisione in sottobacini, la lunghezza dell'asta, la quota della sezione di chiusura e la quota massima sono riportate nella tabella seguente:

ID	Bacini	CORSO D'ACQUA	Sup <sub>BACINO</sub> [Km <sup>2</sup> ]	L <sub>asta principale</sub> [Km]	H <sub>massima</sub> [m.s.m.]	H <sub>minima</sub> [m.s.m.]	i <sub>asta princ</sub> [m/m]
2	2	Rio della Dilezza	2.75	4.83	550	45	0.10
3	3	Rio del Paradiso	0.36	1.15	90	45	0.04
4	4	Rio della Dogana	1.46	2.68	160	50	0.04
5	Collodi_1	Torrente Pescia di Collodi	3.71	3.59	1000	360	0.18
	Collodi_2		6.76	4.62	860	360	0.11
	Collodi_3		8.00	5.06	960	310	0.13
	Collodi_4		3.89	2.24	360	280	0.04
	Collodi_5		3.08	1.29	310	240	0.05
	Collodi_6		3.85	2.00	240	180	0.03
	Collodi_7		6.18	6.65	820	85	0.11
	Collodi_8		0.66	1.62	85	50	0.02
6	6	Fosso Puzzolino	1.41	2.30	100	30	0.030
7	7	Rio Puzzola	3.55	4.10	90	27	0.015
1A	1A	Fosso 1A	0.30	1.06	150	35	0.109
2A	2A	Fosso 2A	0.54	0.92	125	35	0.098

Mandataria

Mandanti

ID	Bacini	CORSO D'ACQUA	Sup <sub>BACINO</sub> [Km <sup>2</sup> ]	L <sub>asta principale</sub> [Km]	H <sub>massima</sub> [m.s.m.]	H <sub>minima</sub> [m.s.m.]	i <sub>asta princ</sub> [m/m]
8	8	Rio Lama - Rio Tassinaia	4.03	3.80	135	20	0.030
3A	3A	Fosso 3A	0.45	0.93	34	15	0.020
9	9	Fosso Ceragio	0.86	1.73	36	15	0.012
10	10	Fosso Nero	1.33	2.92	62	12	0.017
11	11	Rio San Gallo (Rapecchio)	3.68	5.55	136	16	0.022
12	12	Torrente Tazzera	2.49	3.84	100	12	0.023
13	Leccio_01	Rio Leccio	3.31	4.94	508	46	0.094
	Leccio_02		3.08	4.20	210	46	0.039
	Leccio_03		8.07	5.55	46	12	0.006
14	Ralletta	Rio Ralletta	0.55	0.66	14	12	0.003
15	Ralla	Rio Ralla	8.03	8.44	160	12	0.018
16	Quinto	Rio Quinto	2.32	3.55	19	12	0.002
17	Nuova_1	Fossa Nuova	5.36	4.87	650	34	0.127
	Nuova_2		4.94	3.10	210	30	0.058
	Nuova_3		5.63	6.99	840	30	0.116
	Nuova_4		8.82	5.54	820	34	0.142
	Nuova_5		8.82	8.31	34	12	0.003
18	Frizzone	Rio del Frizzone	4.72	5.77	18	12	0.001
19	Arpino	Rio Arpino	3.13	3.50	17	12	0.001
20	Ozzoretto	Canale Ozzoretto	14.61	6.50	32	12	0.003

Tenendo conto della classificazione proposta da Rete Ferroviaria Italiana nel Manuale di Progettazione delle Opere Civili che distingue tra gli attraversamenti che sottendono un'area > 10 km<sup>2</sup> e quelli che sottendono un'area < 10 km<sup>2</sup>, tali bacini idrografici sono stati suddivisi in due livelli di importanza (Corsi d'acqua Maggiori e Corsi d'acqua Minori) cui corrisponde un diverso approccio nella modellazione idrologica.

ID.	COMUNE	Progr. di PROGETTO	TOPONIMO	Opera Esistente	T <sub>r</sub> di progetto [anni]	Q <sub>progetto</sub> [m <sup>3</sup> /s]
2	PESCIA	20+837.00	Rio della Dilezza	Opera esistente tombata	200	46.20
3		20+865.00	Rio del Paradiso	Opera esistente tombata	200	12.80
4		21+232.05	Rio della Dogana	ponte ad impalcato 4 m	200	13.50
6		23+134.00	Fosso Puzzolino	ponte ad arco 4 m	200	34.00
7		23+850.25	Rio Puzzola	ponte ad arco (9.42)	200	43.51
1A		24+507.65	Fosso 1A	Tombino scatolare	200	5.49
2A		25+005.90	Fosso 2A	Ponticello L=3m	200	29.22
8		28+572.60	Rio Lama - Rio Tassinaia	Ponte ad arco 5 m	200	79.20
3A		29+301.95	Fosso 3A	Tombino ad arco	200	6.88
9		30+722.80	Fosso Ceragio	Ponticello ad arco 2 m	200	10.75
10	ALTOPASCIO	31+621.00	Fosso Nero	ponte ad arco 2.9 m	200	14.50
11		32+657.40	Rio San Gallo (Rapecchio)	Ponte ad arco 3.1 m	200	37.46
12		33+363.30	Torrente Tazzera	Ponte ad impalcato 4.8 m	200	28.70

14	PORCARI	34+830.45	Rio Ralletta	Ponticello ad arco 3 m	200	10.80
15		35+136.85	Rio Ralla	Ponte ad impalcato	200	67.80
16		35+397.50	Rio Quinto	Ponte ad impalcato 3 m	200	14.30
18	CAPANNORI	36+096.40	Rio del Frizzone	Ponte ad impalcato 3.4 m	200	16.60
19		36+379.45	Rio Arpino	Tombino ad arco 4,6 m	200	13.40

Come si evince dalla tabella seguente, sono stati considerati come corsi d'Acqua Maggiori,

ID	COMUNE	CORSI D'ACQUA MAGGIORI	Sup <sub>BACINO</sub> [Km <sup>2</sup> ]
5	PESCIA	Torrente Pescia di Collodi	36,13
13	PORCARI	Rio Leccio	14,46
17		Fossa Nuova	33,57
20	LUCCA	Canale Ozzoretto	14,61

Per quanto riguarda i bacini idrografici interclusi tra quelli sopra definiti, non è emersa la presenza di un reticolo idrografico ben definito. La sua delimitazione viene quindi definita dai dislivelli dei bacini adiacenti. Pur non essendo presente un'asta principale della rete idrografica che interseca il percorso ferroviario, il bacino viene considerato nella sua estensione in quanto è il fronte della linea ferroviaria che raccoglie con continuità le portate afferenti al sito. Per tali bacini è stato utilizzato un approccio semplificato alla modellazione idrologica.

### 3.2 Analisi delle Precipitazioni (Sir Toscana)

In questo paragrafo si riportano le modalità con cui sono stati utilizzati i risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività "B-Modellazione idrologica" e in particolare dell'attività "B1-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.

#### 3.2.1 Regionalizzazione dei dati di pioggia

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.

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 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  $\Lambda_1 > \Lambda_2$ ) 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  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  della CDF della TCEV espressa in funzione della variabile ridotta  $y$ , dove i parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  sono definiti come:

$$\theta^* = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad e \quad \Lambda^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 \sqrt{\theta^*}}$$

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  $x'(F)=K_T$ , 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.

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.

La stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500

Mandataria

Mandanti

anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate e il fattore di crescita adimensionale  $K_T$  per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni.

Per le durate caratteristiche, tra i risultati sono presenti le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno.

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

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

$$h(t) = at^n$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];  $t$  = durata [ore],  $a$  e  $n$  parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

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

### 3.2.2 Calcolo della pioggia di progetto su un Bacino Idrografico

In questo paragrafo si riporta il metodo ("A-Utilizzo dei parametri  $a$  e  $n$  della LSPP") che la Regione Toscana indica, al fine di garantire univocità dei risultati, per eseguire per il calcolo delle altezze di pioggia.

In prima battuta è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, valutare le altezze di pioggia. Noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per assegnato  $T_r$ , viene definita la durata  $t$  dell'evento. Per un bacino idrografico si usa  $t=t_{cr}$  (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = at_c^n$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];  $t_c$  = tempo di corrivazione [ore],  $a$  e  $n$  parametri caratteristici. La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione sopra indicata può essere effettuata tramite software GIS con un tool tipo *Raster Calculator*. Una volta trovata l'altezza di pioggia  $h$  in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico (v. punti AB1-AB2).

Per trovare il valore medio delle altezze di pioggia  $h$  sul bacino idrografico è stata utilizzata la metodologia AB2. Questa metodologia prevede che, una volta noto lo spartiacque del bacino idrografico da analizzare come file *raster*, ad esempio in formato *ASCII GRID*, si utilizzino operazioni di analisi spaziale per estrarre la parte di *raster* a risoluzione 1 km dei valori estremi di altezza di pioggia  $h$  (ad esempio utilizzando un tool *Raster Calculator*) per la stima finale del valor medio.

### 3.3 Stima delle portate

Il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi che avviene in un bacino idrografico investito da un evento pluviometrico può essere studiato con vari metodi. In questo studio si è scelto di utilizzare un modello concettuale ossia un modello che prevede la scomposizione del fenomeno nelle sue diverse componenti:

- separazione delle piogge;
- formazione della piena;
- propagazione della piena;

per ciascuna delle quali si adotta un modello matematico differente come mostrato nei paragrafi seguenti.

#### 3.3.1 Il metodo SCS per le perdite idrologiche

Per il calcolo della pioggia netta dalla pioggia lorda, è necessario stimare i volumi persi sottoforma di infiltrazione, trattenimento superficiale, evaporazione, ecc.

Per ottenere un'altezza di pioggia che vada effettivamente a formare il deflusso superficiale delle acque nei diversi alvei della zona in esame, si è scelto di applicare il metodo del Curve Number del S.C.S. (Soil Conservation Service).

Tale metodo si basa sull'ipotesi che, dato un evento di pioggia, il volume specifico del deflusso superficiale  $P$ , sia proporzionale a quello precipitato  $I$ , depurato dell'assorbimento iniziale  $I_a$ , in ragione del rapporto tra volume infiltrato  $F$ , e un volume specifico  $S$ , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno. Quest'ipotesi si traduce nell'espressione:

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

L'equazione di bilancio della massa:

$$F = I - I_a - P$$

consente di ottenere

$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

che fornisce la stima del volume specifico di ruscellamento in funzione di quello di pioggia e di due parametri caratteristici del bacino: la capacità di assorbimento iniziale  $I_a$ , e la massima ritenzione potenziale  $S$ .

Per un certo stato iniziale di imbibimento del bacino al verificarsi di un evento meteorico, la massima ritenzione potenziale  $S$  dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori, la natura del terreno e l'uso del suolo.

L'effetto di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN, legato a  $S$  dalla relazione:

Mandataria

Mandanti

$$S = S_0 \left[ \left( \frac{100}{CN} \right) - 1 \right]$$

dove  $0 < CN < 100$  e  $S_0$  è una costante di scala che riflette l'unità di misura adottata e che, per valori di  $S$ ,  $F$ ,  $I$  e  $P$  misurati in mm, è pari a 254 mm, ovvero 10 pollici.  
Il metodo SCS Curve-Number prevede la stima di due parametri,  $I_a$  e  $S$ , ovvero il CN.

In realtà il termine d'assorbimento iniziale  $I_a$  che rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto a priori al bilancio in esame descrive in modo globale un certo numero di processi differenti, quali l'intercettazione da parte della vegetazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali e l'imbibimento iniziale del terreno, non è facilmente valutabile.

Così definito, infatti, esso risulterebbe di difficile taratura, dovendo tenere conto di fattori climatici, geopedologici e antropici assai complessi. Poiché i dati sperimentali indicano come questo parametro risulti sempre abbastanza correlato con la massima ritenzione potenziale  $S$ , la procedura consigliata da U.S. Dept. Agric. del SCS [1972, 1985] suggerisce, anche per ovviare alle difficoltà di taratura, di esprimerne, almeno in prima approssimazione una stima basata semplicemente su una quota parte di  $S$ , ponendo cioè:

$$I_a = cS$$

dove il coefficiente  $c$  viene generalmente assunto pari a 0.2.

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena,  $API_5$  (Antecedent Precipitation Intensity).

A seconda del valore di  $API_5$ , vengono identificate tre classi AMC I, II, III (Antecedent Moisture Conditions) che rappresentano rispettivamente il terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

- **AMC-I** relativa a condizioni iniziali di saturazione minima, buon drenaggio e massima infiltrazione
- **AMC-II** relativa a condizioni iniziali di saturazione media, discreto drenaggio e media infiltrazione
- **AMC-III** relativa a condizioni iniziali di saturazione massima, cattivo drenaggio e minima infiltrazione

Categoria AMC	Altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento di piena (mm)	
PERIODO	STAGIONE DI RIPOSO	STAGIONE VEGETATIVA
AMC-I	< 12.7	<35.6
AMC-II	12.7 – 27.9	35.6 – 53.53
AMC-III	> 27.9	> 53.3

Mandataria

Mandanti

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, ossia  $CN_{II}$ , i valori relativi alle classi AMC-I e AMC-III si possono valutare rispettivamente tramite le relazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,3 - 0,013 \cdot CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057 \cdot CN_{II}}$$

Il valore di  $CN_{II}$  si individua mediante l'intersezione tra la Carta dell'Uso del Suolo e la Carta della Permeabilità del Suolo.

In tabella 1 si riporta la classificazione della possibilità di infiltrazione al suolo (Hydrologic Soil Group) A, B, C, D, dove A indica suoli a maggior infiltrabilità e D quelli a minor infiltrabilità.

GRUPPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, 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 la capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità d'argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'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 della superficie.

Nella tabella seguente si riportano i valori del parametro  $CN_{II}$  per diverse combinazioni di suolo e di copertura. Tali valori sono relativi ad una condizione di drenaggio medio ovvero ad una condizione iniziale di saturazione del suolo con potenziale di infiltrazione medio.

Copertura o uso del suolo	tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato:				
senza interventi di sistemazione	72	81	88	91
con interventi di sistemazione	62	71	78	81
Terreno a pascolo:				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
Praterie:				
in buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati:				

Mandataria

Mandanti

terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	81
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi:				
in condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
in buone condizioni con almeno il 75% di copertura boscosa	39	61	74	80
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali:				
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
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade:				
pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
inghiaiate, o selciate, con buche	76	85	89	91
in terra battuta	72	82	87	89

I valori del CN per ogni bacino, sono stati ricavati dai dati forniti dalla Regione Toscana e con la metodologia prescritta dalla stessa.

Si riporta la tabella di associazione Codice Corine Land Cover (prima colonna) -Curve Number in funzione delle classi di permeabilità del suolo.

COD.	Descrizione	CN II				COD.	Descrizione	CN II			
		A	B	C	D			A	B	C	D
111	Tessuto urbano continuo	77	85	90	92	311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
112	Tessuto urbano discontinuo	57	72	81	86	312	Boschi di conifere	36	60	73	79
121	Aree industriali o commerciali	89	90	94	94	313	Boschi misti	36	60	73	79
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98	321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
123	Aree portuali	89	92	94	94	322	Brughiere e cespuglieti	49	69	79	84
124	Aeroporti	81	88	91	93	323	Aree a vegetazione sclerofilia	49	69	79	84
131	Aree estrattive	46	69	79	84	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
132	Discariche	46	69	79	84	331	Spiagge, dune, sabbie	76	85	89	91
133	Cantieri	46	69	79	84	332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80	333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80	334	Aree percorse da incendi	77	86	91	94
211	Seminativi in aree non irrigue	70	80	86	90	335	Ghiacciai e nevi perenni	100	100	100	100
212	Seminativi in aree irrigue	85	90	92	94	411	Paludi interne	100	100	100	100
213	Risaie	100	100	100	100	412	Torbiere	100	100	100	100
221	Vigneti	45	66	77	83	421	Paludi salmastre	100	100	100	100
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83	422	Saline	100	100	100	100
223	Uliveti	45	66	77	83	423	Zone intertidali	100	100	100	100
231	Prati stabili	30	58	71	78	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100	100	100	100
241	Colture annuali associate e colture permanenti	58	73	82	87	512	Bacini d'acqua	100	100	100	100
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	58	73	82	87	521	Lagune	100	100	100	100
243	Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	52	70	80	84	522	Estuari	100	100	100	100
244	Aree agroforestali	58	73	82	87						

**Tabella di associazione Corine Land Cover - Curve Number**

La scelta dello stato iniziale di imbibimento del terreno comporta notevoli incertezze e rappresenta un punto chiave nella modellazione a causa della forte dipendenza della risposta idrologica da tale scelta. Ad esempio, in aree mediterranee è stato osservato che

passando da condizioni di saturazione intermedie del suolo a condizioni umide si produce un significativo incremento (pari anche a più del 100%) sia della portata al colmo che del volume di deflusso. Si sottolinea inoltre che, nell'ambito di studi di pericolosità idraulica, gli ietogrammi di progetto considerati sono di per sé relativi ad eventi meteorologici particolarmente intensi e, quindi, dalle caratteristiche molto gravose. Infatti, vengono considerate sia le piogge intense molto brevi (1-2 ore), tipiche degli eventi convettivi del periodo estivo, sia le piogge con spessori cumulati significativi, ma più prolungate, che caratterizzano gli eventi frontali delle stagioni autunnali ed invernali. Gli eventi convettivi estivi, che si verificano in condizioni "secche" del terreno, hanno caratteristiche più simili agli eventi pluviometrici di progetto.

Nel presente lavoro si è scelto di utilizzare il parametro CN (III), relativo a condizioni iniziali umide, sia in via cautelativa sia per non ottenere valori di portata che, pur scientificamente basati, si discostassero troppo dai valori riportati in alcuni studi condotti in passato nel territorio comunale.

COMUNE	ID	bacini	CORSO D'ACQUA	CNII	CNIII	S	la	impervious [%]
PESCIA	2	18	Rio della Dilezza	65,88	81,79	56,57	11,31	4
	3	19	Rio del Paradiso	81,84	91,29	24,24	4,85	17
	4	20	Rio della Dogana	48,82	68,93	114,50	22,90	0
	5	Collodi_1	Torrente Pescia di Collodi	39,07	59,86	170,33	34,07	0
		Collodi_2		43,87	64,51	139,74	27,95	0
		Collodi_3		51,72	71,36	101,96	20,39	0
		Collodi_4		40,92	61,70	157,69	31,54	0
		Collodi_5		58,06	76,30	78,90	15,78	4
		Collodi_6		59,79	77,57	73,45	14,69	13
	Collodi_7	61,74	78,96	67,68	13,54	13		
	Collodi_8	74,73	87,31	36,93	7,39	19		
MONTECARLO	6	22	Fosso Puzzolino	81,32	91,01	25,09	5,02	3
	7	23	Rio Puzzola	82,94	91,87	22,47	4,49	1
	1A	1A	Fosso 1A	83,42	92,13	21,71	4,34	5
	2A	2A	Fosso 2A	83,58	92,21	21,46	4,29	4
ALTOPASCIO	8	24	Rio Lama - Rio Tassinaia	84,37	92,62	20,23	4,05	6
	3A	3A	Fosso 3A	85,43	93,17	18,63	3,73	14
	9	25	Fosso Ceragio	84,00	92,43	20,80	4,16	10
	10	26	Fosso-Fosso Nero	87,93	94,43	14,99	3,00	26
	11	27	Rio San Gallo (Rapecchio)	60,39	78,00	71,64	14,33	7
	12	28	Torrente Tazzera	82,77	91,78	22,74	4,55	7
PORCARI	13	Leccio_01	Rio Leccio	75,01	87,47	36,39	7,28	0
		Leccio_02		74,00	86,87	38,37	7,67	0
		Leccio_03		84,00	92,43	20,80	4,16	7
	14	Ralletta	Rio Ralletta	78,30	89,35	30,27	6,05	67
	15	Ralla	Rio Ralla	82,05	91,40	23,89	4,78	12
	16	Quinto	Rio Quinto	73,00	86,28	40,40	8,08	42

	17	Nuova_1		73,46	86,55	39,46	7,89	5	
		Nuova_2		78,76	89,61	29,45	5,89	6	
		Nuova_3	Fossa Nuova		65,07	81,25	58,63	11,73	7
		Nuova_4			72,44	85,94	41,55	8,31	10
		Nuova_5			73,01	86,28	40,38	8,08	31
CAPANNORI	18	Frizzone	Rio del Frizzone	73,00	86,28	40,40	8,08	81	
	19	Arpino	Rio Arpino	73,00	86,28	40,40	8,08	1	
LUCCA	20	Ozzoretto	Canale Ozzoretto	73,00	86,28	40,40	8,08	25	

### 3.3.2 Calcolo del tempo di Corrivazione

Per calcolare il tempo di corrivazione esistono diversi metodi:

- Giandotti 
$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

- Ventura 
$$t_c = 0.127 \sqrt{\left(\frac{A}{i_m}\right)}$$

- Pezzoli 
$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

- Pasini 
$$t_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{\sqrt{i_m}}$$

- Kirpich 
$$t_c = 0,000325 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}}\right)^{0.77}$$

in cui L è la lunghezza dell'asta principale in Km, A è l'area del bacino in km<sup>2</sup>, H<sub>m</sub> è l'altitudine media del bacino e i<sub>m</sub> è la pendenza media dell'asta principale.

Per la valutazione del tempo di corrivazione, data l'estensione ridotta dei bacini studiati, si è scelto di escludere la formula di Giandotti in quanto valida per bacini di grandezza maggiore di 100 km<sup>2</sup>.

### 3.3.3 Formazione della piena

Per la determinazione delle portate attese sono stati applicati modelli idrologici afflussi-deflussi basati sulle caratteristiche del bacino in forma globale.

In particolare l'analisi degli eventi critici è stata affrontata applicando due differenti metodologie a seconda delle caratteristiche del bacino studiato:

- Metodo dell'idrogramma unitario: Formulazione SCS
- Metodo Razionale

Mandataria

Mandanti

### Metodo dell'idrogramma unitario: Formulazione SCS

L'idrogramma unitario SCS è un idrogramma di tipo sperimentale ottenuto dal Soil Conservation Service sulla base di registrazioni di piogge ed idrogrammi di piena di un gran numero di piccoli bacini agricoli strumentati. L'idrogramma unitario SCS è un idrogramma adimensionale con un singolo picco, che esprime la portata istantanea  $U_t$  come frazione della portata di picco  $U_p$  in funzione del rapporto tra l'istante  $t$  e il tempo del picco  $T_p$ . Le correlazioni effettuate dal SCS hanno mostrato che la portata di picco e l'istante a cui si verifica lo stesso sono legate dalla:

$$U_p = \frac{2.8 \cdot A}{T_p}$$

dove  $A$  rappresenta l'area del bacino idrografico.

L'istante di picco è legato alla durata dell'unità di precipitazione  $\Delta t$  (pari al passo di calcolo) secondo la seguente:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

dove  $t_{lag}$  è il tempo di ritardo del bacino, definito come lo sfasamento temporale tra il baricentro della pioggia netta e il picco dell'idrogramma unitario. Una volta definito il parametro  $t_{lag}$  l'idrogramma unitario può essere completamente descritto.

Per bacini non strumentati l'SCS suggerisce di mettere in relazione il tempo di ritardo con il tempo di corrivazione, secondo la seguente:

$$t_{lag} = \frac{3}{5} \cdot T_c$$

### Metodo Razionale

La formula razionale esprime la convinzione intuitiva che la massima portata defluente dalla sezione di sbocco del bacino sia una parte della pioggia caduta su tutta l'area del bacino in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio avente una durata pari ad un valore critico per il bacino e cioè il suo tempo di corrivazione ( $t_c$ ). Infatti, se la durata della pioggia  $t$  è minore di  $t_c$ , non tutto il bacino contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; alla fine della precipitazione (istante  $t$ ) tutte le parti più distanti del bacino non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di controllo e quando questo avverrà (dopo un intervallo di tempo  $t_c - t$ ) le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno cessato di impegnare la stessa. Viceversa, se la pioggia ha una durata  $t > t_c$ , tutto il bacino contribuirà contemporaneamente al deflusso per un intervallo di tempo  $t - t_c$  in cui la portata resterà costante e pari al valore massimo. L'espressione analitica per la valutazione della portata di piena assume la seguente forma:

$$Q_t = \frac{C \cdot h_c \cdot A}{3.6 \cdot t_c}$$

In cui,  $A$  è la superficie del bacino espressa in  $[Km^2]$ ,  $h_c$  è l'altezza di pioggia, determinata dalla curva di possibilità climatica, per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino,

Mandataria

Mandanti

C è il coefficiente di deflusso; che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino, e 3.6 è un fattore di omogeneizzazione delle unità di misura. Per quanto riguarda il tempo di corrivazione  $t_c$  esso è stato determinato attraverso le formule esposte nel paragrafo precedente.

### 3.3.4 Propagazione delle onde di Piena

Per lo studio dei deflussi di piena in uscita dai vari bacini si è ipotizzato, per semplicità, una traslazione delle onde di piena dalle sezioni di monte sino alle sezioni di valle.

Un tratto di alveo nel quale si verifica esclusivamente il fenomeno di traslazione dell'onda di piena si può schematizzare per mezzo di un canale lineare, che ha quindi l'effetto di ritardare la portata uscente rispetto a quella entrante di un intervallo di tempo detto *lag*.

A seguito di questa considerazione, il calcolo dell'onda di piena risultante nella sezione di chiusura di ogni singolo bacino è stato effettuato utilizzando il modulo *Routing Method Lag* di HEC-HMS. In questo caso l'unico dato di input è costituito dal tempo di ritardo (lag), variabile in funzione delle caratteristiche del corso d'acqua (lunghezza, pendenza, scabrezza) e della corrente, calcolato come rapporto tra la lunghezza dell'asta fluviale da modellare e la velocità di propagazione della corrente, fissata pari a 2 m/s.

COMUNE	ID	bacini	CORSO D'ACQUA	TCvent [h]	TCpasini [h]	TCpezzoli [h]	TCkirpich [h]	Tc [h]	Tc [min]	CRitBacino	LagBacino [h]	LagBacino [min]	LagAsta [h]	LagAsta [min]
PESCIA	2	18	Rio della Dilezza	0,65	0,78	0,82	0,69	0,74	44	0,65	0,48	28,75	0,67	40,25
	3	19	Rio del Paradiso	0,39	0,41	0,32	0,37	0,37	22	0,65	0,24	14,51	0,16	9,58
	4	20	Rio della Dogana	0,76	0,84	0,73	0,70	0,76	45	0,65	0,49	29,45	0,37	22,33
	5	Collodi_1	Torrente Pescia di Collodi	0,58	0,60	0,47	0,42	0,52	31	0,65	0,34	20,18	0,50	29,92
		Collodi_2		1,01	1,02	0,77	0,66	0,86	52	0,65	0,56	33,68	0,64	38,49
		Collodi_3		1,00	1,02	0,78	0,65	0,86	52	0,65	0,56	33,64	0,70	42,20
		Collodi_4		1,33	1,17	0,65	0,65	0,95	57	0,65	0,62	36,98	0,31	18,63
		Collodi_5		0,96	0,73	0,30	0,35	0,58	35	0,65	0,38	22,76	0,18	10,72
		Collodi_6		1,44	1,22	0,64	0,65	0,99	59	0,65	0,64	38,53	0,28	16,67
Collodi_7	0,95	1,11		1,10	0,86	1,00	60	0,65	0,65	39,16	0,92	55,42		
Collodi_8	0,74	0,77		0,60	0,65	0,69	41	0,65	0,45	26,96	0,22	13,48		
MONTECARLO	6	22	Fosso Puzzolino	0,94	0,96	0,73	0,72	0,84	50	0,65	0,54	32,61	0,32	19,17
	7	23	Rio Puzzola	2,19	2,29	1,82	1,59	1,97	118	0,65	1,28	76,88	0,57	34,17
	1A	1A	Fosso 1A	0,22	0,23	0,18	0,21	0,21	12	0,65	0,14	8,10	0,15	8,80
	2A	2A	Fosso 2A	0,30	0,27	0,16	0,20	0,23	14	0,65	0,15	9,08	0,13	7,66
ALTOPASCIO	8	24	Rio Lama - Rio Tassinaiia	1,53	1,57	1,20	1,07	1,34	80	0,65	0,87	52,30	0,53	31,67
	3A	3A	Fosso 3A	0,65	0,60	0,36	0,44	0,51	31	0,65	0,33	20,04	0,13	7,76
	9	25	Fosso Ceragio	1,25	1,24	0,87	0,92	1,07	64	0,65	0,69	41,69	0,24	14,45
	10	26	Fosso-Fosso Nero	1,24	1,38	1,23	1,16	1,25	75	0,65	0,81	48,84	0,41	24,33
	11	27	Rio San Gallo (Rapecchio)	1,68	2,00	2,08	1,69	1,86	112	0,65	1,21	72,57	0,77	46,25
	12	28	Torrente Tazzera	1,36	1,53	1,40	1,24	1,38	83	0,65	0,90	53,89	0,53	32,00
PORCARI	13	Leccio_01	Rio Leccio	0,76	0,89	0,89	0,74	0,82	49	0,65	0,53	31,94	0,69	41,17

Mandataria


**TECH**  
 ingegneria integrata ©


Mandanti



COMUNE	ID	bacini	CORSO D'ACQUA	T <sub>Cvent</sub> [h]	T <sub>Cpasini</sub> [h]	T <sub>Cpezzoli</sub> [h]	T <sub>Ckirpich</sub> [h]	T <sub>C</sub> [h]	T <sub>C</sub> [min]	CRit <sub>Bacino</sub>	Lag <sub>Bacino</sub> [h]	Lag <sub>Bacino</sub> [min]	Lag <sub>Asta</sub> [h]	Lag <sub>Asta</sub> [min]
		Leccio_02		1,13	1,27	1,17	1,01	1,15	69	0,65	0,75	44,71	0,58	35,00
		Leccio_03		4,62	4,84	3,90	3,17	4,13	248	0,65	2,69	161,12	0,77	46,25
	14	Ralletta	Rio Ralletta	1,70	1,39	0,65	0,87	1,15	69	0,65	0,75	45,01	0,09	5,46
	15	Ralla	Rio Ralla	2,72	3,28	3,51	2,59	3,02	181	0,65	1,97	117,93	1,17	70,33
	16	Quinto	Rio Quinto	4,36	4,88	4,40	3,97	4,40	264	0,65	2,86	171,76	0,49	29,61
	17	Nuova_1	Fossa Nuova	0,83	0,89	0,75	0,63	0,78	47	0,65	0,50	30,23	0,68	40,54
		Nuova_2		1,17	1,10	0,71	0,66	0,91	55	0,65	0,59	35,50	0,43	25,83
		Nuova_3		0,89	1,07	1,13	0,87	0,99	59	0,65	0,64	38,55	0,97	58,25
		Nuova_4		1,00	1,04	0,81	0,66	0,88	53	0,65	0,57	34,19	0,77	46,18
		Nuova_5		7,34	8,66	8,88	6,59	7,87	472	0,65	5,11	306,81	1,15	69,25
CAPANNORI	18	Frizzone	Rio del Frizzone	8,57	9,97	9,84	7,93	9,08	545	0,65	5,90	354,02	0,80	48,08
	19	Arpino	Rio Arpino	5,96	6,30	5,09	4,61	5,49	329	0,65	3,57	214,07	0,49	29,17
LUCCA	20	Ozzoretto	Canale Ozzoretto	8,77	8,75	6,44	5,06	7,25	435	0,65	4,71	282,89	0,90	54,17

### 3.4 Modellazione Idrologica Attraversamenti Maggiori

La modellazione idrologica è stata messa a punto utilizzando il Software HEC-HMS sviluppato dallo US Army Corps of Engineers utilizzando come modello idrologico quello proposto dal Soil Conservation Service ed esposto nei paragrafi precedenti.

Nella seguente tabella sono riportati, per ogni bacino, i valori dei parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dai dati forniti dalla Regione Toscana (SIR) per i tempi di Ritorno di 30 e 200 anni.

COMUNE	ID	bacini	CORSO D'ACQUA	Tr = 30 anni		Tr=200 anni	
				a	n	a	n
PESCIA	2	2	Rio della Dilezza	59,31	0,284	87,53	0,304
	3	3	Rio del Paradiso	57,95	0,286	85,53	0,306
	4	4	Rio della Dogana	58,66	0,285	86,58	0,304
	5	Collodi_1	Torrente Pescia di Collodi	53,910	0,350	79,57	0,370
		Collodi_2		54,370	0,351	80,24	0,371
		Collodi_3		57,260	0,317	84,51	0,336
		Collodi_4		56,650	0,331	83,61	0,350
		Collodi_5		56,960	0,319	84,07	0,339
		Collodi_6		57,580	0,307	84,97	0,326
		Collodi_7		58,220	0,293	85,93	0,312
	Collodi_8		58,290	0,284	86,03	0,304	
MONTECARLO	6	6	Fosso Puzzolino	56,93	0,29	84,01	0,34
	7	7	Rio Puzzola	56,60	0,28	83,60	0,30
	1A	1A	Fosso 1A	56,80	0,27	83,85	0,29
	2A	2A	Fosso 2A	56,59	0,27	83,55	0,29

COMUNE	ID	bacini	CORSO D'ACQUA	Tr = 30 anni		Tr=200 anni	
				a	n	a	n
ALTOPASCIO	8	8	Rio Lama - Rio Tassinai	56	0,27	83,20	0,29
	3A	3A	Fosso 3A	56	0,28	83,47	0,29
	9	9	Fosso Ceragio	56	0,30	83,43	0,29
	10	10	Fosso-Fosso Nero	57	0,27	83,79	0,29
	11	11	Rio San Gallo (Rapecchio)	57	0,27	84,64	0,29
	12	12	Torrente Tazzera	59	0,26	86,50	0,28
PORCARI	13	Leccio_01	Rio Leccio	59,32	0,279	87,54	0,299
		Leccio_02		59,32	0,279	87,57	0,298
		Leccio_03	Rio Leccio	59,14	0,270	87,28	0,289
	14	Ralletta	Rio Ralletta	58,73	0,278	86,68	0,297
	15	Ralla	Rio Ralla	59,76	0,274	88,20	0,294
	16	Quinto	Rio Quinto	60,45	0,273	89,21	0,299
	17	Nuova_1	Fossa Nuova	62,49	0,293	92,23	0,312
		Nuova_2		61,63	0,285	90,96	0,305
		Nuova_3		60,29	0,287	88,99	0,307
		Nuova_4		60,86	0,277	89,82	0,296
Nuova_5	61,26	0,275		90,40	0,295		
CAPANNORI	18	Frizzone	Rio del Frizzone	61,53	0,281	90,82	0,30
	19	Arpino	Rio Arpino	61,13	0,293	90,22	0,31
LUCCA	20	Ozzoretto	Canale Ozzoretto	65,18	0,287	96,19	0,303

Seguendo le indicazioni del Manuale di Progettazione delle Opere Civili di R.F.I., per i bacini che hanno un'estensione maggiore di 10 km<sup>2</sup>, sono state ricavate le curve di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno pari a 300 anni. I parametri idrologici, a e n, ricavati attraverso le elaborazioni dei dati forniti dalla Regione Toscana sono riportati nella tabella seguente.

COMUNE	ID	BACINI	CORSO D'ACQUA	Tr=300 anni	
				a	n
PESCIA	5	Collodi_1	Torrente Pescia di Collodi	85,89	0,371
		Collodi_2		86,69	0,370
		Collodi_3		91,19	0,339
		Collodi_4		90,36	0,352
		Collodi_5		90,77	0,341
		Collodi_6		91,83	0,327
		Collodi_7		92,89	0,315
		Collodi_8		92,89	0,305
PORCARI	13	Leccio_01	Rio Leccio	94,62	0,301
		Leccio_02		94,83	0,295
		Leccio_03		94,62	0,290
	17	Nuova_1	Fossa Nuova	99,08	0,308

Mandataria

Mandanti

COMUNE	ID	BACINI	CORSO D'ACQUA	Tr=300 anni	
				a	n
		Nuova_2		97,94	0,308
		Nuova_3		97,19	0,306
		Nuova_4		96,97	0,301
		Nuova_5		98,39	0,304
LUCCA	20	Ozzoretto	Canale Ozzoretto	103,98	0,302

Di seguito vengono riportate le descrizioni delle modellazioni di ogni bacino e le portate ottenute alla sezione di chiusura (coincidente con l'intersezione tra l'asta principale di ogni bacino e il tracciato ferroviario).

### 3.4.1 Risultati Corsi d'acqua Secondari

I bacini caratterizzati da estensioni ridotte e da parametri idrologici essenzialmente omogenei (vedi tabella capitolo precedente) sono stati modellati con un unico sottobacino collegato alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario.

Per la modellazione è stato utilizzato uno ietogramma di pioggia del tipo Alternate-Block di durata pari a due ore.

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

ID	COMUNE	CORSO D'ACQUA	$Q_{Tr=30 \text{ anni}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{Tr=200 \text{ anni}}$ [m <sup>3</sup> /s]
2	PESCIA	Rio della Dilezza	25.30	46.20
3		Rio del Paradiso	8.00	12.80
4		Rio della Dogana	5.40	13.50
6	MONTECARLO	Fosso Puzzolino	20.40	34.00
7		Rio Puzzola	28.30	43.51
1A		Fosso 1A	3.84	5.49
2A		Fosso 2A	20.40	29.20
8	ALTOPASCIO	Rio Lama - Rio Tassinai	43.60	79.20
3A		Fosso 3A	3.86	6.88
9		Fosso Ceragio	6.50	10.75
10		Fosso Nero	9.30	14.50
11		Rio San Gallo (Rapecchio)	19.73	37.46
12		Torrente Tazzera	17.00	28.70
14	PORCARI	Rio Ralletta	7.10	10.80
15		Rio Ralla	38.10	67.80
16		Rio Quinto	8.80	14.30
18	CAPANNORI	Rio del Frizzone	10.90	16.60
19		Rio Arpino	7.50	13.40

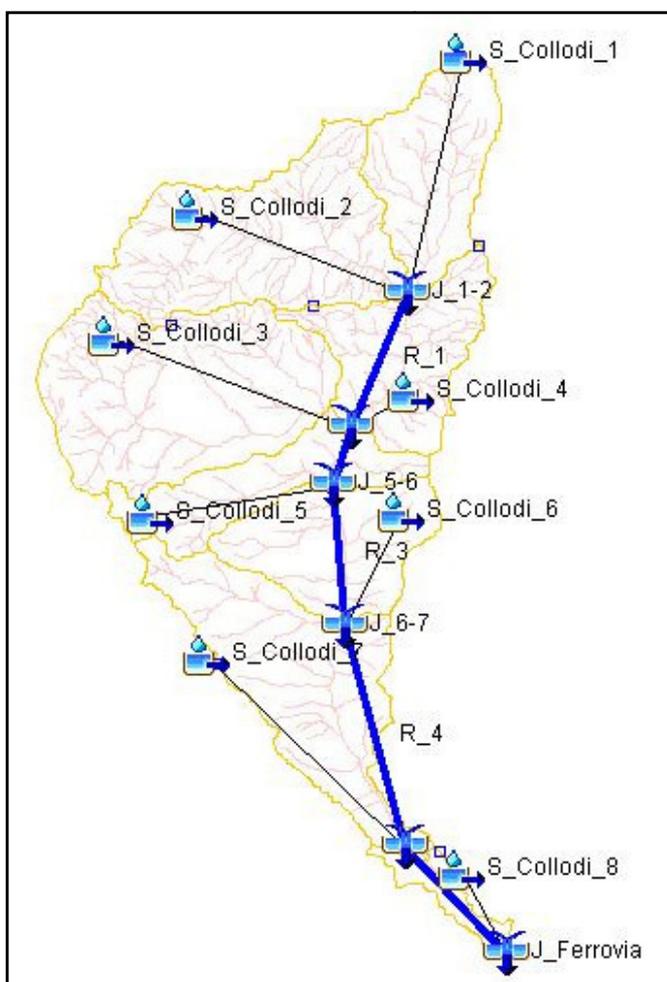
### 3.4.2 Risultati Corsi d'acqua Principali

I bacini morfologicamente più complessi, sono stati modellati con due o più sottobacini minori al fine di poter tenere in considerazione sia i cambiamenti di pendenza che le diverse coperture del suolo. Gli ietogrammi di pioggia utilizzati sono stati costruiti con l'Alternate-Block-Method considerando come durata critica il tempo di corrivazione dell'intero bacino.

Di seguito sono riportate le immagini dei bacini, la descrizione dei bacini stessi e le portate risultanti per eventi con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni.

#### Torrente Pescia di Collodi (ID\_5)

Il Pescia di Collodi è un Torrente che nasce dal monte Crocione (m 1022) e percorre tutta la Valle di Collodi. Nel Padule di Altopascio è canalizzato e si immette a destra nel canale del Capannone in località Altopascio.



Le opere idrauliche realizzate su questo corso d'acqua comprendono una serie di salti di fondo e briglie realizzati a monte della sezione di chiusura. L'alveo risulta inoltre essere confinato tra argini dalla zona di Collodi fino all'immissione nel Canale del Capannone.

Mandataria

Mandanti

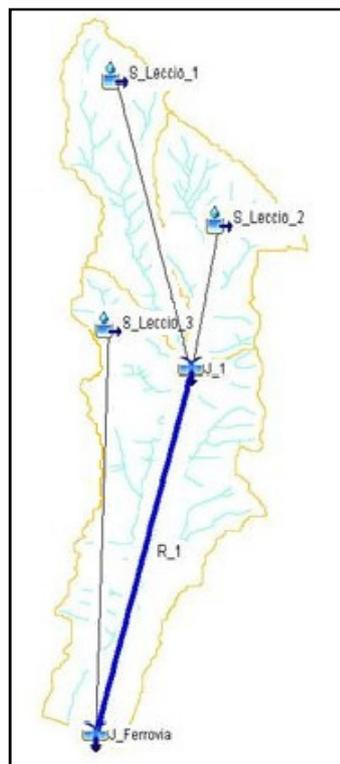
Dallo Studio idrologico e idraulico effettuato dal Consorzio di Bonifica n°4 del Basso Valdarno (Padule di Fucecchio) a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Pescia, emerge che a valle dell'attraversamento ferroviario è presente una paratoia che regola le portate del corso d'acqua nel tratto in cui lo stesso procede in affiancamento con il tracciato ferroviario.

**RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IN HEC-HMS**

ID	COMUNE	CORSO D'ACQUA	Q <sub>Tr=30 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Tr=200 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Tr=300 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]
5	PESCIA	Torrente Pescia di Collodi	153	336.8	385.4

**Rio Leccio (ID\_13)**

Il bacino del rio Leccio scorre nel comune di Capannori e in quello di Porcari dove interseca la linea ferroviaria in oggetto. Questo bacino presenta una forma allungata con caratteristiche collinari nella zona a Nord e nella zona centrale, mentre la zona a Sud è prevalentemente pianeggiante. Il rio Leccio scorre con direzione prevalente Nord-Sud dalle pendici delle Pizzorne fino a raggiungere il territorio del Padule Bientina.



Il Rio leccio interseca le principali infrastrutture della zona: la strada Provinciale Lucchese Romana, a monte dell'attraversamento ferroviario e l'Autostrada A11 Firenze-Mare, a valle dello stesso.

Dal piano strutturale del comune di Porcari del 2012 emerge che l'alveo del fiume è insufficiente al transito della portata duecentennale. E' stata quindi prevista la realizzazione di 5 casse di espansione a monte dell'attraversamento ferroviario. La superficie occupata complessivamente dalle casse è di 425000 mq. Pur avendo un livello di progettazione avanzato, secondo quanto riportato nelle tabelle aggiornate del PGRA (vedi paragrafo 2.6), tali casse non sono state considerate nella modellazione idrologica del bacino. Per la modellazione idrologica il bacino del rio Leccio è stato suddiviso in 3 sottobacini: i primi due con caratteristiche collinari, il terzo invece pianeggianti.

**RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IN HEC-HMS**

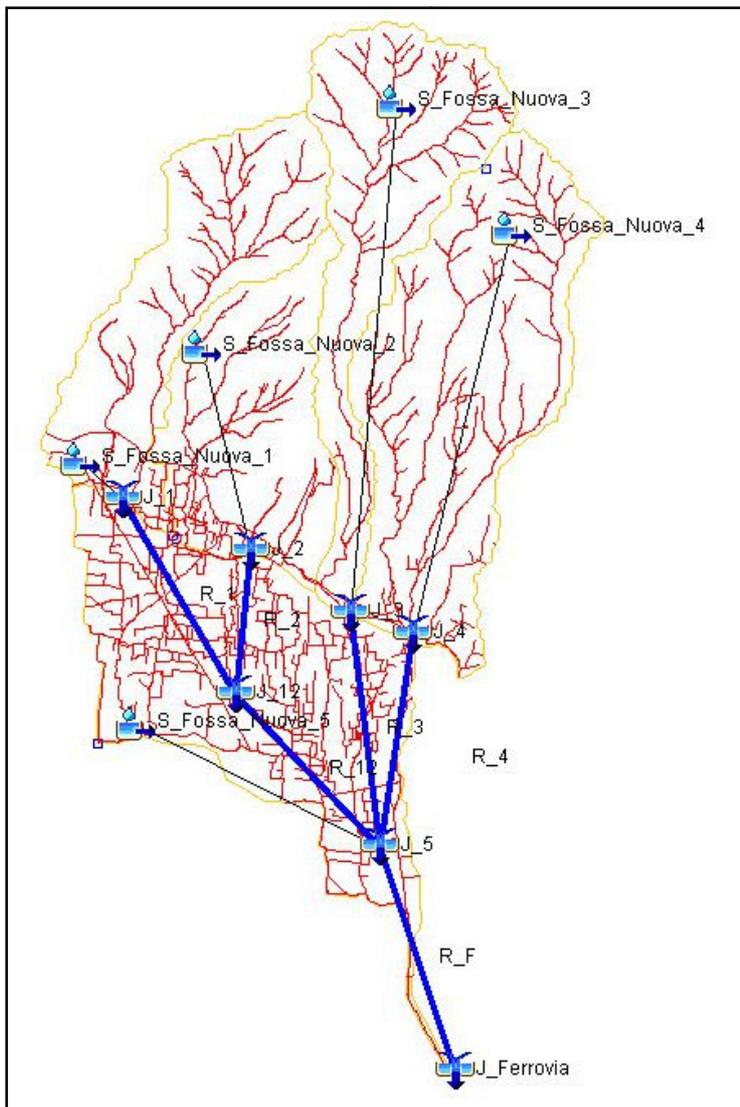
ID	COMUNE	CORSO D'ACQUA	Q <sub>Tr=30 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Tr=200 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Tr=300 anni</sub> [m <sup>3</sup> /s]
13	PORCARI	Rio Leccio	80.9	138.5	153.5

### Fossa Nuova (ID\_17)

Il canale Fossa Nuova è un canale artificiale costruito dopo la bonifica del lago di Sesto-Bientina, che raccoglie le acque provenienti dal monte Serra. Il suo bacino idrografico ricade interamente nel comune di Capannori, fatta eccezione dell'ultimo tratto in cui interseca l'infrastruttura ferroviaria nel comune di Porcari. Come è possibile osservare dalla figura sottostante, il bacino del Canale Fossa Nuova è stato suddiviso in 5 sottobacini, di cui i primi 4 presentano caratteristiche di tipo collinare e rappresentano gli afflussi del Rio Caprio e Rio Nocella (S\_Fossa\_Nuova\_1), del Rio Casale (S\_Fossa\_Nuova\_2), del Rio Sana (S\_Fossa\_Nuova\_3) e del Rio Castruccio (S\_Fossa\_Nuova\_4). Il sottobacino S\_Fossa\_Nuova\_5 rappresenta invece la zona

pianeggiante ed è costituito quasi esclusivamente da canali artificiali.

La modellazione idrologica così impostata non tiene in conto né delle casse di espansione previste dai vari strumenti di pianificazione territoriale (come illustrato nei paragrafi precedenti), né della risagomatura dell'alveo del Canale Fossa Nuova.



#### RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IN HEC-HMS

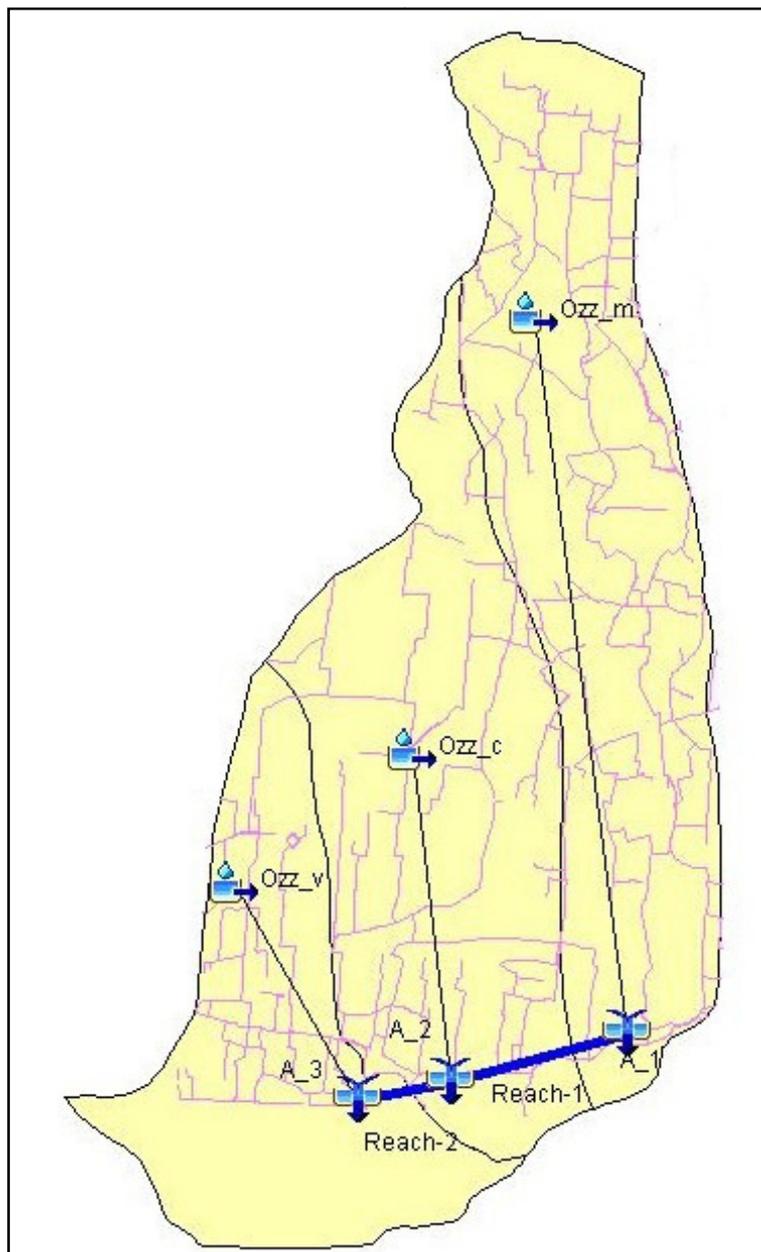
ID	COMUNE	CORSO D'ACQUA	$Q_{Tr=30 \text{ anni}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{Tr=200 \text{ anni}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{Tr=300 \text{ anni}}$ [m <sup>3</sup> /s]
17	CAPANNORI	Torrente Fossa Nuova	306.2	511	562.6

Mandataria

Mandanti

### Canale Ozzoretto (ID\_20)

Il canale Ozzoretto fa parte del sistema di canali Ozzeri-Ozzoretto-Rogio della piana lucchese. Il bacino del canale Ozzoretto ricade nel comune di Lucca e sotto l'ex Autorità del Bacino Pilota del Fiume Serchio. L'area presenta caratteristiche di tipo pianeggiante. Secondo quanto riportato nei vari piani vigenti, l'area risulta essere sottoposta a fenomeni



di allagamento e ristagno delle acque esondate. Il PGRA del Serchio prevede, seguendo le indicazioni degli altri strumenti di pianificazione vigenti (P.A.I., regolamenti urbanistici, P.I.T.), di aumentare la capacità di invaso e laminazione interna anche attraverso interventi di riqualificazione ecologica e riconnessione idraulica tra le aree di laminazione e i canali. In particolare è previsto l'adeguamento delle sezioni del Canale Ozzoretto allo smaltimento delle portate duecentennali.

Di seguito si riporta la suddivisione del bacino del canale Ozzoretto in 3 sottobacini minori secondo quanto riportato nei dati forniti dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Serchio. La modellazione idrologica è stata condotta seguendo lo schema proposto in occasione degli studi condotti a supporto della "Variante al Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico – I Aggiornamento" approvata con DPCM 26/07/2013 aggiornando i parametri idrologici con quelli forniti dal SIR della Regione Toscana (2014).

Nella modellazione idrologica non sono state tenute in conto le 3 casse di espansione lungo il corso del Canale Ozzoretto previste dal P.G.R.A. perché a valle dell'attraversamento ferroviario.

Mandataria

Mandanti

Nella tabella seguente si riportano i parametri idrologici utilizzati per la modellazione con il software HEC-HMS in cui è stato utilizzato uno ietogramma calcolato con l'Alternate Block Method, il metodo SCS per le perdite idrologiche e come trasformazione afflussi- deflussi il metodo dell'idrogramma unitario nella formulazione SCS.

	SUP <sub>BACINO</sub> [Km <sup>2</sup> ]	L <sub>asta</sub> principale [Km]	i <sub>asta princ</sub> [m/m]	T <sub>corr</sub> [h]	T <sub>corr</sub> [min]	CNII	S	la	Imp [%]	a	n	C rit	Lag Bacino [min]
Ozz_m	6.71	6.50	0.003	6.11	366.31	73.00	93.95	18.79	25.00	94.53	0.31	0.65	238.10
Ozz_c	5.68	3.80	0.005	3.79	227.17	73.00	93.95	18.79	25.00	96.62	0.30	0.65	147.66
Ozz_v	3.78	2.50	0.008	2.28	136.92	73.00	93.95	18.79	25.00	88.65	0.35	0.65	89.00

Lo schema proposto in occasione degli studi condotti a supporto della "Variante al Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico – I Aggiornamento" approvata con DPCM 26/07/2013, prevede la parzializzazione dei contributi idrologici dei sottobacini sull'asta fluviale analizzata. Di seguito si riporta la mappatura dei punti/sezioni di immissione di tali contributi.



Al fine di riproporre tale schema, dalla modellazione idrologica sono stati estratti gli idrogrammi in uscita dai singoli sottobacini idrografici considerando come evento critico quello di durata 24 ore. Le portate massime associate a tale evento sono riportate nella tabella sottostante assieme ai calcoli riportati per le immissioni.

Qmax [mc/s]					
Ozz_m	Ozz_c	Ozz_v	I_1: 100% Ozz_m + 25% Ozz_c	I_2: 100% Ozz_m + 50% Ozz_c	I_3: 100% Ozz_m + 100% Ozz_c

Mandataria

Mandanti

PAI	16.5	15.6	11.9	20.36	24.27	32.08
SIR 2014	21.7	25.2	15.4	28.00	34.30	46.90

### 3.5 Modellazione Idrologica Attraversamenti Minori

La modellazione idrologica degli attraversamenti minori è stata effettuata applicando la già citata formula razionale

$$Q_t = \frac{C \cdot h_c \cdot A}{3.6 \cdot t_c}$$

L'altezza di pioggia  $h_c$  è stata determinata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica fornite dal SIR della Regione Toscana, relativamente al tempo di ritorno previsto dal Manuale di Progettazione RFI, pari a 200 anni. In particolare, vista l'estensione della tratta in progetto, il tracciato è stato suddiviso in tre sottozone omogenee dal punto di vista delle caratteristiche pluviometriche e di uso del suolo, per ognuna delle quali è stato calcolato un valore medio dei coefficienti  $a$ ,  $n$  e  $CN$ , come mostrato nella tabella seguente:

Zona	PK <sub>IN</sub>	PK <sub>OUT</sub>	CN <sub>medio</sub>	C	a <sub>TR=200 ANNI</sub>	n <sub>TR=200 ANNI</sub>
1	20670	21500	69	0,69	74,25	0,30
2	21500	35200	92	0,92	73,25	0,29
3	35200	45000	86	0,86	77,25	0,33

A partire poi, dalle dimensioni degli attraversamenti già presenti sulla linea a singolo binario e previsti dai progetti precedenti sono state definite le superfici di drenaggio e calcolate le relative portate idrologiche. Si rimanda a Relazione Idraulica Opere di attraversamento minori (elaborato 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E002), Relazione idraulica opere maggiori (elaborato: 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E003) per la definizione delle geometrie dei singoli attraversamenti.

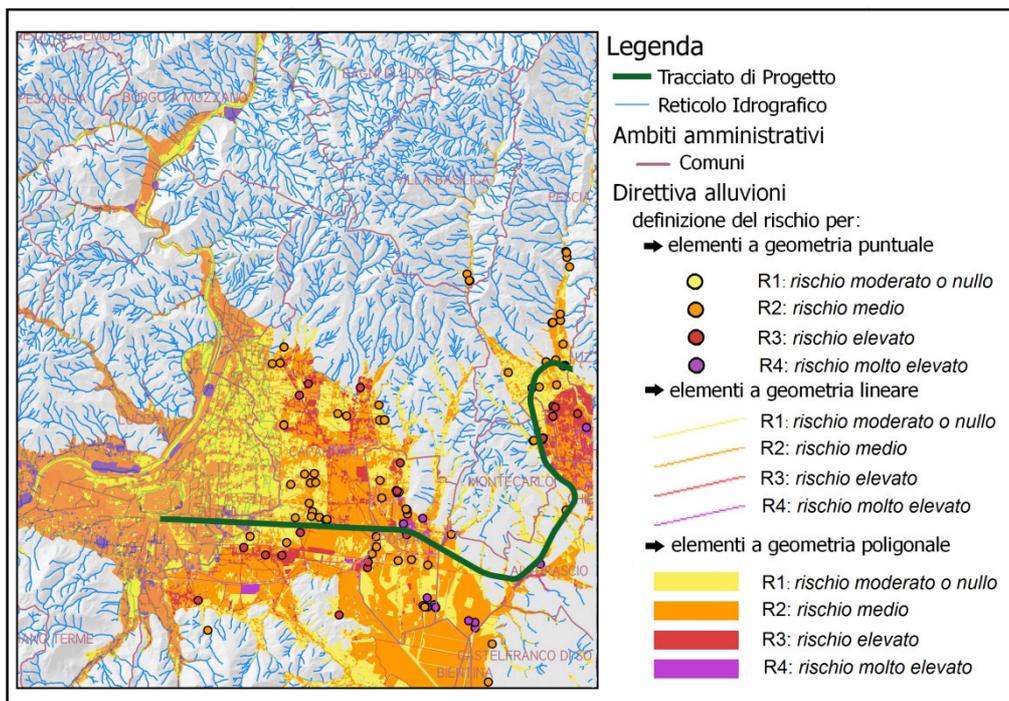
## 4 ANALISI DEI VINCOLI DEL RISCHIO IDRAULICO

L'opera in esame va ad inserirsi in una zona che risulta essere particolarmente critica dal punto di vista del deflusso superficiale. Dalle analisi fornite dalle Autorità di Bacino

Mandataria

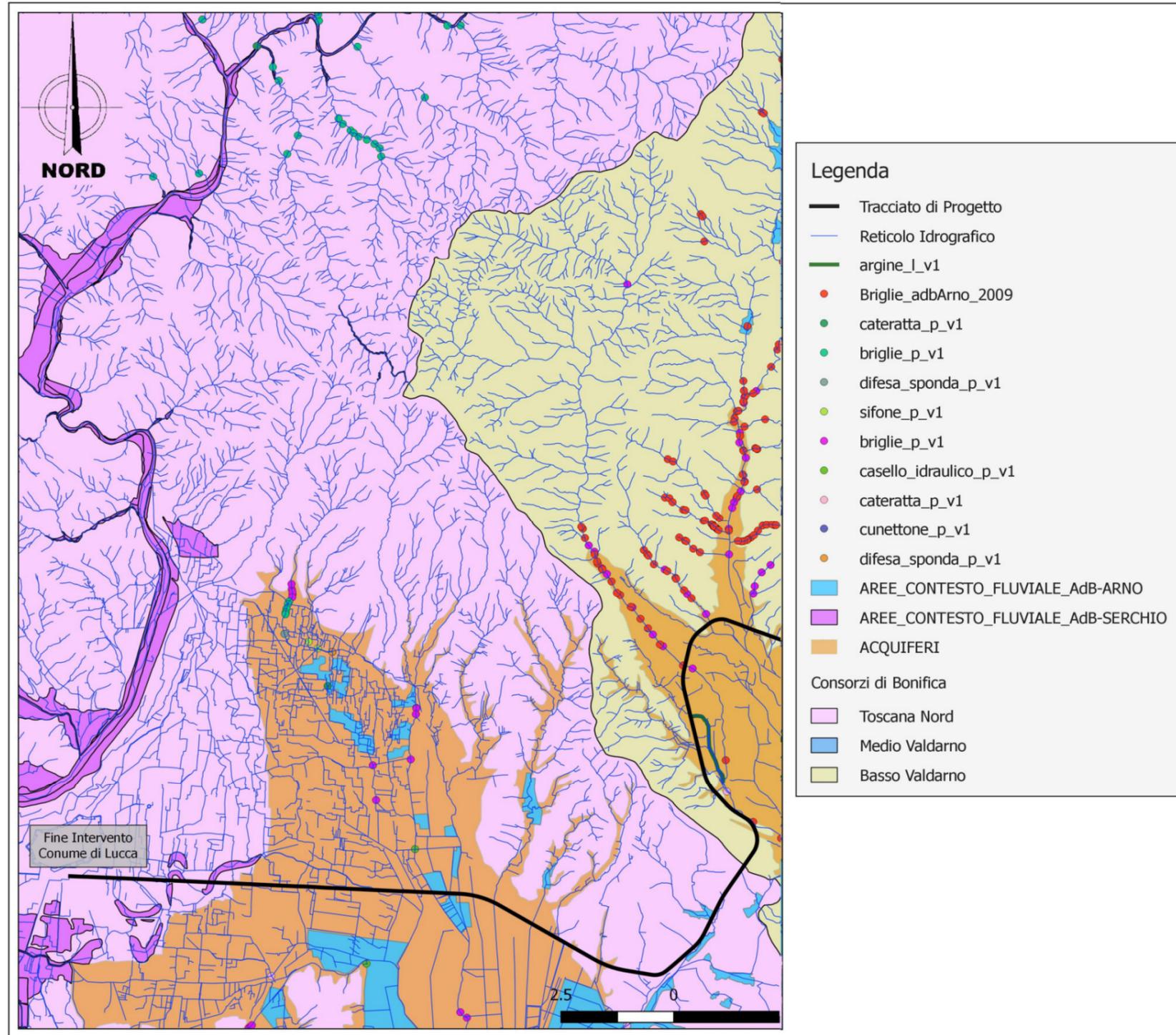
Mandanti

competenti, il reticolo idrografico risulta, per la maggior parte, insufficiente al deflusso delle acque meteoriche e sono in previsione una serie di opere strutturali (casse di espansione e risistemazioni d'alveo) atte a diminuire le criticità della zona. La modellazione è stata effettuata tenendo in considerazione le opere di mitigazione del rischio idraulico esistenti. Gli attraversamenti dell'infrastruttura ferroviaria esistenti sono stati riverificati e, ove necessario, modificati o aggiunti di modo che l'infrastruttura non costituisca sbarramento al deflusso naturale e non aumenti il rischio idraulico.

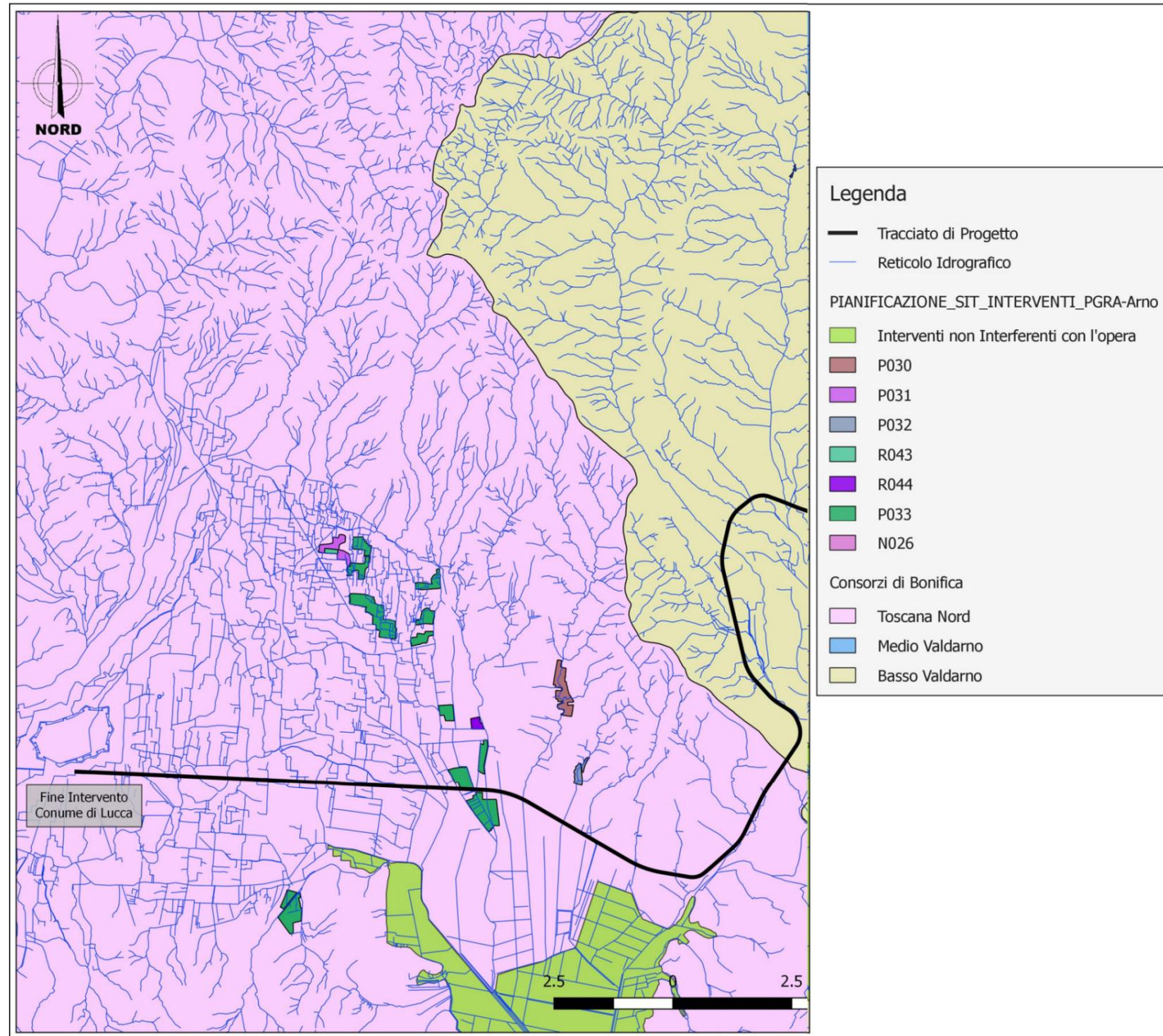


5 ALLAGATI

5.1 ALLEGATO 1 : Opere Idrauliche Esistenti

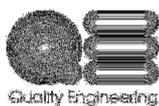


5.2 ALLEGATO 2: Opere Idrauliche in Previsione



*Mandataria*

**TECH** | PROJECT  
ingegneria integrata ®



*Mandanti*



 **ambiente**  
ingegneria ambientale e laboratori