

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

NODO DI ROMA

PRG DI ROMA TUSCOLANA

IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA

Generale

Relazione idrologica e idraulica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

NR2E 00 R 78 RI ID0002 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	E.Sellari	Apr-2021	G.De Cianni	Apr-2021	T. Paolotti	Apr-2021	D.Tiberti
B	Emissione Esecutiva	E.Sellari	Mag-2021	G.De Cianni	Mag-2021	T. Paolotti	Mag-2021	D.Tiberti

ITALFERR S.p.A.
 Gruppo Ferrovie dello Stato
 Direzione Generale
 UO Infrastrutture Sud
 Dott. Ing. Daniele Tiberti
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

NR2E.0.0.R.78.RI.ID.00.0.2.001.B

n. Elab.:

GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione idrologica e idraulica	NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	1 di 45

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	ELABORATI ANNESSI	3
3	NORMATIVA E LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO	3
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
4.1	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
5	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'INTERVENTO	9
6	DESCRIZIONE INTERVENTI DI PROGETTO	11
7	ANALISI IDROLOGICA	16
7.1	TEMPI DI RITORNO	16
7.2	STUDIO IDROLOGICO – METODOLOGIA VAPI	16
7.2.1	<i>Pluviometria</i>	17
7.2.2	<i>Stima del Valor Medio – Leggi di Possibilità Pluviometriche</i>	22
7.2.3	<i>curve di possibilità pluviometrica di progetto</i>	31
8	ANALISI IDRAULICA	33
8.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	33
8.1.1	<i>Metodo della Corrivazione (Modello Cinematico)</i>	33
8.1.2	<i>Metodo delle sole piogge</i>	39
8.2	DIMENSIONAMENTO VASCHE DI LAMINAZIONE	41
8.3	PORTATE IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO	42
8.4	DIMENSIONAMENTO CANALETTE DRENANTI	44

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la "Relazione idrologica e idraulica" redatta nell'ambito del Progetto di Fattibilità tecnica economica del PRG nell'area della stazione di Roma Tuscolana.

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione del regime pluviometrico dell'area di studio e il dimensionamento idraulico dei principali manufatti costituenti il sistema di drenaggio (vasche di laminazione, impianti di sollevamento, canalette drenanti).

Il dimensionamento idraulico degli elementi di drenaggio predisposti come presidio idraulico della piattaforma ferroviaria e stradale atti a raccogliere, invasare, collettare e smaltire le acque meteoriche precipitate sulle aree (interne ed esterne alla sede), nonché gli elementi costituenti i sistemi di drenaggio dei piazzali e dei fabbricati tecnologici sarà sviluppato nella fase di Progettazione Definitiva. In questa fase è stato studiato lo schema di funzionamento dell'intera rete di smaltimento dell'area di intervento (Planimetria schematica del sistema di drenaggio - NR2E00R78P6ID0002001A).

Sono perciò riportate le curve di possibilità pluviometrica per precipitazioni con durate inferiori e maggiori all'ora, necessarie alla definizione del regime pluviometrico delle zone oggetto della presente trattazione. Per la definizione delle leggi di pioggia si è fatto riferimento alla metodologia VaPI.

In conformità al manuale di Progettazione Ferroviario le opere sono state dimensionate per un evento critico di durata inferiore all'ora (scroscio) e per un prefissato tempo di ritorno T_r posto pari a 100 [anni] per le aree di deflusso di pertinenza ferroviaria e a 25 [anni] per le altre aree di deflusso (Viabilità, parcheggi, piazzali stradali, ecc.).

In accordo all'art.30 delle NTA del Piano di Tutela delle Acque della Regione Lazio, sono state previste delle vasche di prima pioggia per il trattamento delle acque dei piazzali e delle viabilità.

Il recapito finale delle acque del sistema di drenaggio è costituito dalla rete fognaria su via Assisi e su via Stazione di Tuscolana, gestita dalla società ACEA S.p.A.. Sono previste due vasche di laminazione, a monte di ciascun recapito, al fine di rispettare una portata massima allo scarico pari a 25 l/s/ha.

Dove non è stato possibile trovare un valido recapito, sono state previste delle canalette drenanti che disperdono le acque all'interno del terreno.

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	3 di 45

2 ELABORATI ANNESSI

IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA		
Generale	Scala	Codifica
Relazione idrologica e idraulica	-	NR2E00R78RIID0002001
Tipologico opere di smaltimento acque di piattaforma ferroviaria	varie	NR2E00R78BZID0002001
Drenaggio di Piattaforma		
Planimetria schematica del sistema di drenaggio	1:2000	NR2E00R78P6ID0002001

3 NORMATIVA E LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO

NORMATIVA

- R.D. 25/07/1904, n. 523 – “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 – “Testo unico delle leggi sanitarie”;
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;
- D.M. 12/12/1985 – “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- L.18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 – “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- D.lgs. 16/01/2008, n. 4 – “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell’Autorità di bacino del fiume Tevere – adottato dal comitato istituzionale il 18 luglio/2012 (Tav. 43);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Centrale – approvato con Delibera del Comitato Istituzionale Integrato n. 9 del 3 marzo 2016 (Tav. R86 – P86);
- D.M. 17/01/2018 – “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 21/01/2019, n.7 – “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018”;

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	4 di 45

- UNI 11292 14/02/2019 – “Locali Destinati ad Ospitare Gruppi di Pompaggio per Impianti Antincendio – Caratteristiche Costruttive e Funzionali”;
- Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2020;
- L.R. 13/08/2011, n. 12 – Approvazione delle “Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali” – deliberazione della Giunta Regionale n.117 del 24 marzo 2020 – B.U.R.L. 02/04/2020, n. 37 – Attuazione della Direttiva 2007/60/CE;
- Piano di Tutela della Acque della Regione Lazio e relative Norme Tecniche di Attuazione (Aggiornamento - 20/12/2018 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE LAZIO - N. 103 - Supplemento n. 3)

LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO

- V.T. Chow – “Open-Channel Hydraulics – McGraw-Hill – 1959;
- G. Supino – “Le reti idrauliche” – Ed. Patron – Bologna – 1965;
- D. S. Miller – “Internal Flow Systems” – BHR Group Limited – 1978;
- D. Tonini – “Elementi di idrografia ed idrologia” – Vol. 2 – Ed. Cortina – 1983;
- U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service – “Urban hydrology for small watersheds” – 1986;
- A. Lencastre – “Manuel d’hydraulique générale – Eyrolles” – 1986;
- D. Citrini, G. Nosedà – “Idraulica” – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- F. Arredi – “Costruzioni Idrauliche” – Utet – 1987;
- G. Ippolito – “Appunti di costruzioni idrauliche” – Liguori – 1993;
- S. Gabriele, G. Liritano – “Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV” – Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e Loro Controllo, Rapporto 1992/93, L1, GNDCI-CNR, Roma – 1994;
- G. Calenda, F. Campolo, C. Cosentino, R. Guercio – “Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara” – In La valutazione delle piene in Italia-Rapporto Nazionale di Sintesi, CNR-GNDCI, Allegato F, Roma – 1994;
- L. Da Deppo, C. Datei – “Fognature” – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- S. Artina et al. – “Sistemi di Fognatura” – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997;

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	5 di 45

- C. Ciaponi, S. Papiri, U. Sanfilippo, S. Todeschini – “Acque di prima Pioggia – Manuale di Progettazione” – CSDU/ Hoepli – 2014;
- M. C. Grandi, A. Massacci, L. Passatore, F. Romagnolli – “Le piante che depurano l’acqua – Applicazioni in fitorimediao, fitodepurazione e biopiscine” – Editrice il campo – 2014.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area d'interesse si trova nel Municipio VII del Comune di Roma, capoluogo della Regione Lazio, nei pressi della stazione ferroviaria di Roma Tuscolana, a nord est della stazione, lungo la ferrovia tirrenica.

L'area di studio del presente elaborato è individuabile, evidenziata in rosso, nell'immagine aerea di della figura 1 e nella carta stradale della figura 2.

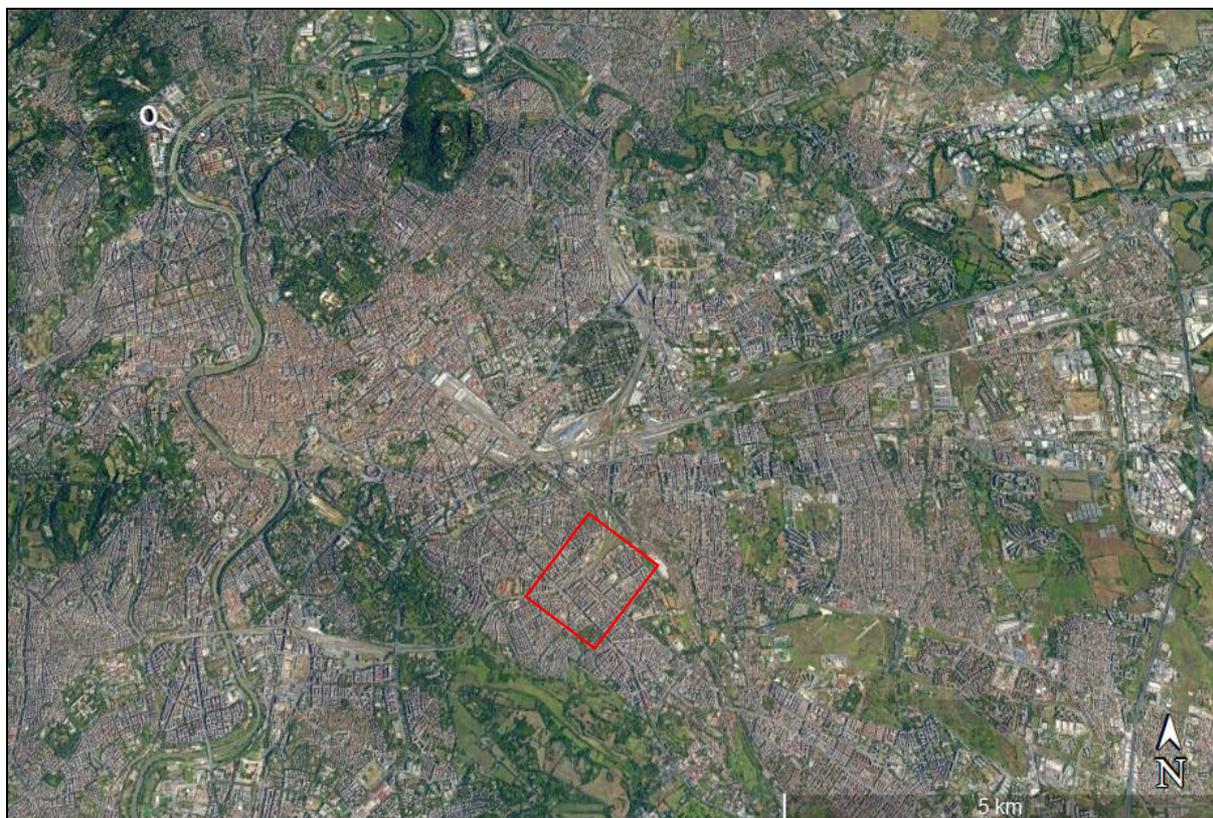


Figura 1 – Immagine aerea della zona oggetto di studio con l'ubicazione dell'area di progetto (in rosso) [fonte: Google Earth].

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	7 di 45



Figura 2 –Carta stradale dell’area in esame [fonte: Google Maps].

4.1 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio romano sono molto variabili in rapporto alla variabilità delle caratteristiche litologiche o giaciture dei terreni presenti. Le argille di base, con la loro permeabilità praticamente nulla, rappresentano il letto di ogni circolazione idrica sotterranea in tutta l’area. Al di sopra di tale substrato impermeabile poggiano le serie sedimentarie pre-vulcaniche con orizzonti più o meno sabbiosi e ghiaiosi, permeabili, alternati ad argille. Su tali sedimenti poggiano le serie vulcaniche dei Distretti vulcanici Sabatino e Albano che mostrano alternanze di livelli molto permeabili con orizzonti francamente impermeabili. Il sedimentario e post-vulcanico è da considerarsi molto poco permeabile, mentre le alluvioni, collegate ai corsi d’acqua che attraversano il territorio

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	8 di 45

comunale, presentano nel loro seno alternanze lenticolari o stratiformi di orizzonti permeabili; si comportano pertanto come un multiacquifero con livelli in pressione e livelli freatici.

Le frequenti variazioni di permeabilità, sia in senso orizzontale che in senso verticale, rendono la situazione idrogeologica del territorio romano abbastanza complessa per la presenza di numerose circolazioni idriche sotterranee, spesso in contatto idraulico tra loro. Le circolazioni superficiali hanno un andamento fortemente influenzato dalla topografia e dalla morfologia superficiale. L'andamento di quelle profonde, in pressione, è di difficile determinazione in quanto le perforazioni che le raggiungono hanno livelli statici spesso risultanti da una "miscela" tra circolazioni superficiali e profonde. Tutti i sistemi idrici sotterranei sono condizionati e controllati dalle argille di base, che spesso affiorano a quote elevate, determinando emergenze sorgentizie sospese, e dal reticolo idrografico, che corre a quote assolute basse e si raccorda con il gradiente generale delle circolazioni idriche aventi in esso il ricettore principale con sorgenti lineari a volte di grande importanza.

I corsi d'acqua principali rappresentano assi di drenaggio perenni nei confronti delle circolazioni idriche sotterranee. L'acqua può scorrere in superficie o come subalvea nelle alluvioni. In tal modo, gli acquiferi delle alluvioni dei corsi d'acqua principali sono alimentati, oltre che dalle piogge dirette, anche lateralmente da circolazioni idriche sotterranee contenute negli acquiferi subalvei o in quelli leggermente confinanti.

In base alle caratteristiche geologiche e idrogeologiche, il territorio comunale è suddivisibile in due grandi aree, Sinistra Tevere e Destra Tevere le quali sono a loro volta suddivise in altre sottoaree. Ai fini del seguente elaborato le aree che destano maggiore interesse sono il Settore sud orientale e sud occidentale del lato sinistro del Fiume Tevere.

5 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'INTERVENTO

L'intervento in progetto ricade nell'ambito dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, ricompresa nel territorio del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale.

Il progetto è stato pertanto redatto nel rispetto delle seguenti normative:

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Centrale - approvato con Delibera del Comitato Istituzionale Integrato n. 9 del 3 marzo 2016 (Tav. R88 – P88);
- Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di bacino del fiume Tevere – adottato dal comitato istituzionale con deliberazione n. 125 del 18 luglio 2012 (Tav. 49);
- L.R. 13/08/2011, n. 12 – Approvazione delle “Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali” – deliberazione della Giunta Regionale n.117 del 24 marzo 2020 – B.U.R.L. 02/04/2020, n. 37 – Attuazione della Direttiva 2007/60/CE
- Piano di Protezione Civile di Roma Capitale 2021.

Il Piano di protezione civile di Roma Capitale individua le seguenti fasce ad elevato e molto elevato pericolo di inondazione con individuazione di aree a rischio R2, R3 e R4.

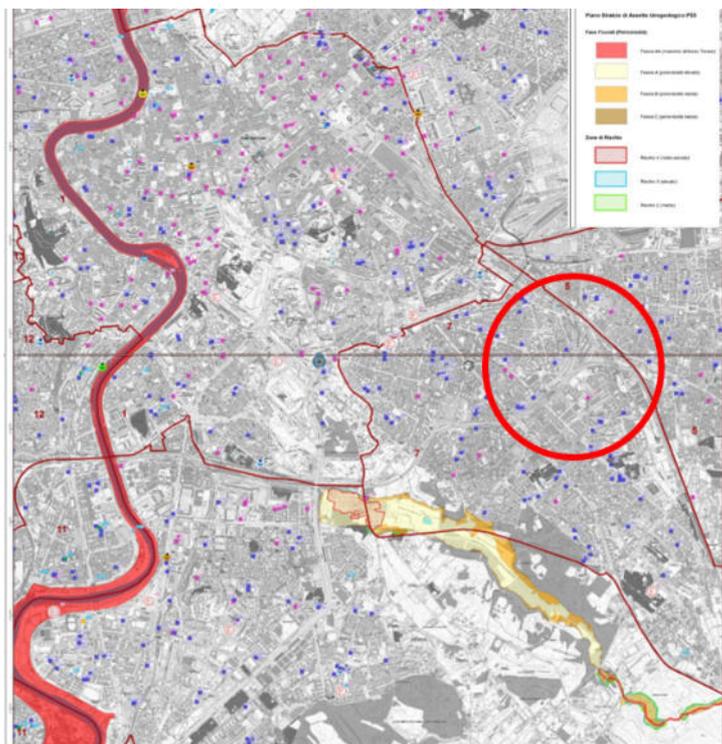


Figura 3 – Mappe di pericolosità e rischio – Piano di Protezione Civile di Roma Capitale 2021



**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO
ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA**

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	10 di 45

Si evidenzia come l'oggetto di intervento, i fabbricati e le aree pertinenti non ricadono in alcuna zona classificata a pericolosità idraulica o a rischio idraulico, pertanto l'intervento risulta non soggetto alle norme attuative degli strumenti normativi vigenti, rispettando i criteri di compatibilità idraulica indicati.

Relazione idrologica e idraulica

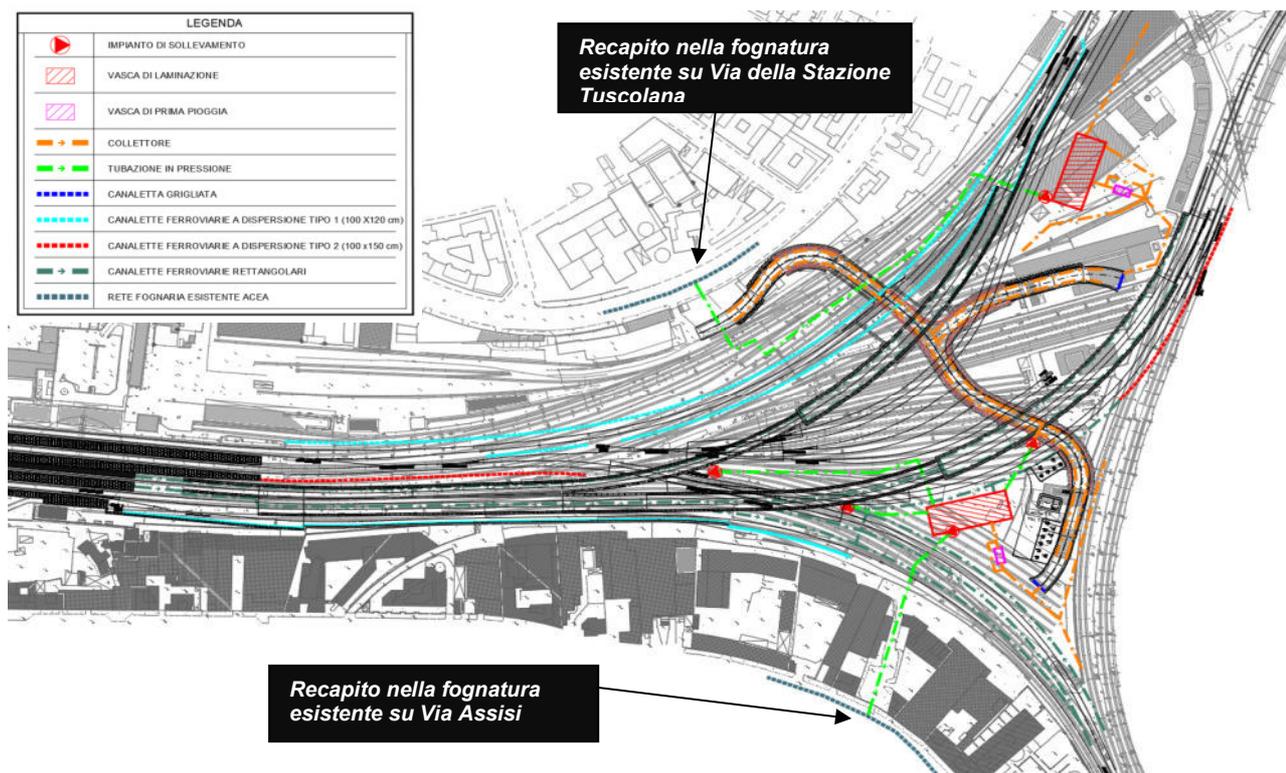
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	11 di 45

6 DESCRIZIONE INTERVENTI DI PROGETTO

La soluzione progettuale prevede il convogliamento delle acque provenienti dai piazzali, dalle viabilità e dalla piattaforma ferroviaria in progetto all'interno di due vasche di laminazione da realizzare nei pressi dei piazzali in progetto. Le vasche saranno dotate di impianto di sollevamento in maniera tale da inviare a recapito la massima portata smaltibile, fissata pari a 25 l/s/ha, all'interno della rete di drenaggio esistente sulle viabilità adiacenti all'intervento (via Assisi e via della Stazione Tuscolana). Per questa soluzione si dovrà verificare che il ricettore esistente possa essere in grado di smaltire la portata di scarico della vasca in sicurezza senza aggravare la rete di drenaggio attuale. Inoltre, lo scarico dovrà essere autorizzato dall'ente gestore del sistema di smaltimento esistente.

Le acque di prima pioggia dei piazzali e delle viabilità verranno convogliate all'interno di due vasche di prima pioggia dove saranno trattate prima di essere inviate a recapito. Un bypass garantirà il deflusso delle acque di seconda pioggia direttamente all'interno delle vasche di laminazione. Il trattamento consiste nella sedimentazione e disoleazione che avverrà in appositi scomparti dell'impianto.

Dove non è stato possibile trovare un valido recapito, verranno realizzate delle canalette drenanti che disperdono le acque direttamente a suolo.



Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	12 di 45

Piattaforma Ferroviaria

Per l'intercettazione dei flussi d'acqua ricadenti sulla piattaforma ferroviaria, poiché l'intervento prevede soluzioni per lo più a raso rispetto al piano campagna, si sono adottate generalmente le seguenti soluzioni ed opere idrauliche:

- per garantire l'immediato smaltimento delle acque meteoriche dalla pavimentazione ferroviaria è stata assegnata alla pavimentazione una opportuna pendenza trasversale;
- i flussi d'acqua sono recapitati direttamente nella cunetta rettangolare di piattaforma, nei tratti privi di recapito la cunetta sarà del tipo a dispersione con bauletto disperdente al di sotto riempito con ghiaia;
- nei tratti in galleria e in alcuni tratti in trincea la raccolta avviene al centro della sezione con doppio binario all'interno di una canaletta idraulica al di sotto del ballast.

Nel progetto sono previsti binari con o senza sub-ballast, i tratti in cui è previsto il sub-ballast impermeabile sono quelli relativi agli assi n. 5-6-7 mentre i restanti assi non avranno sub-ballast trattandosi per lo più di sistemazioni di binari esistenti.

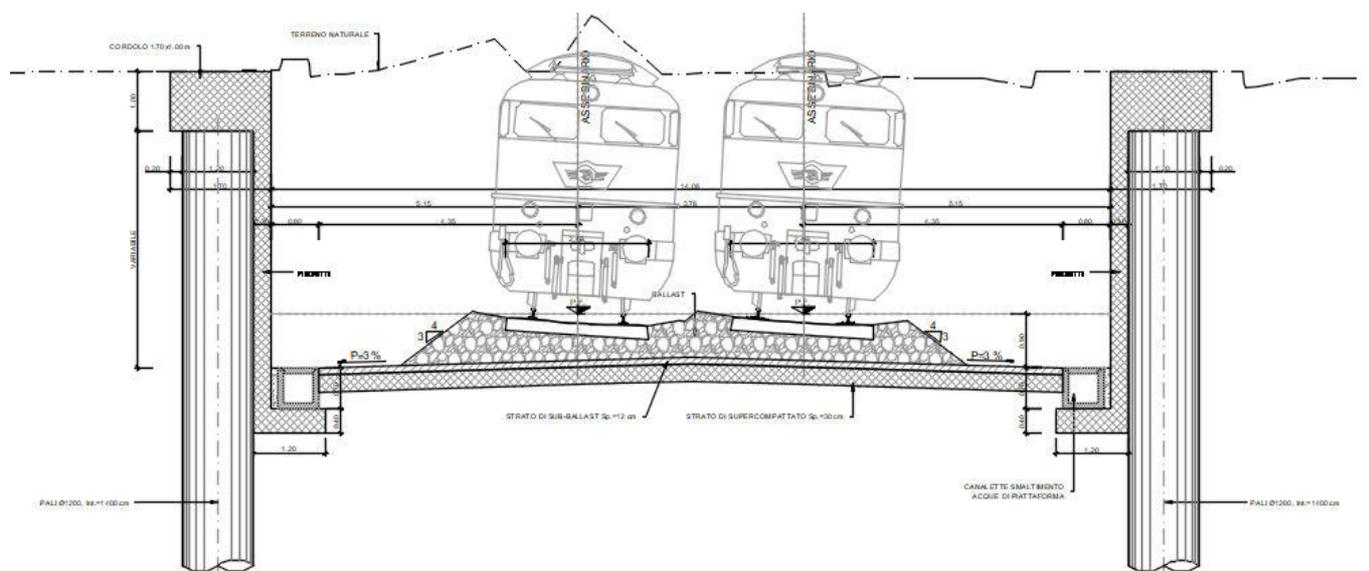


Figura 5 – Sezione tipo in trincea

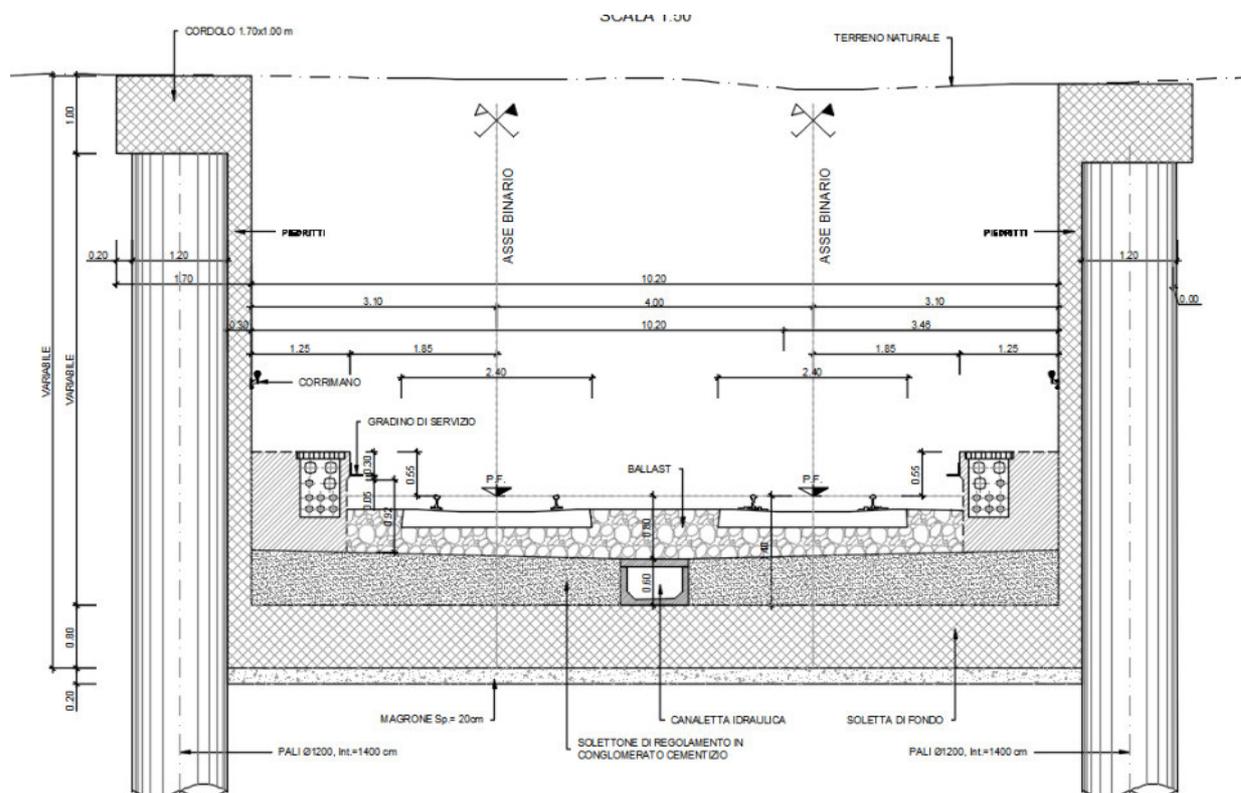


Figura 6 – Sezione tipo in trincea con canaletta centrale

Piattaforma Stradale

Per la piattaforma stradale si prevede un sistema di drenaggio con collettori posti al margine della viabilità che scaricheranno le acque drenate all'interno della vasca di sollevamento. L'impianto di sollevamento sarà posizionato nel punto di minimo all'interno di una camera ricavata in adiacenza alla galleria e ne sarà garantita l'ispezionabilità e la sostituzione delle pompe direttamente dal piano campagna. Dall'impianto partirà una condotta in pressione che scaricherà le acque drenate dai collettori, previo trattamento, all'interno della vasca di laminazione. Per evitare che le acque dei piazzali entrino nelle gallerie stradali saranno predisposte delle canalette grigliate in cls prefabbricate di dimensioni interne 50x50 cm poste prima dell'inizio del sottopasso che scaricheranno le acque all'interno delle vasche di laminazione. La canaletta sarà verificata secondo le specifiche del manuale RFI.

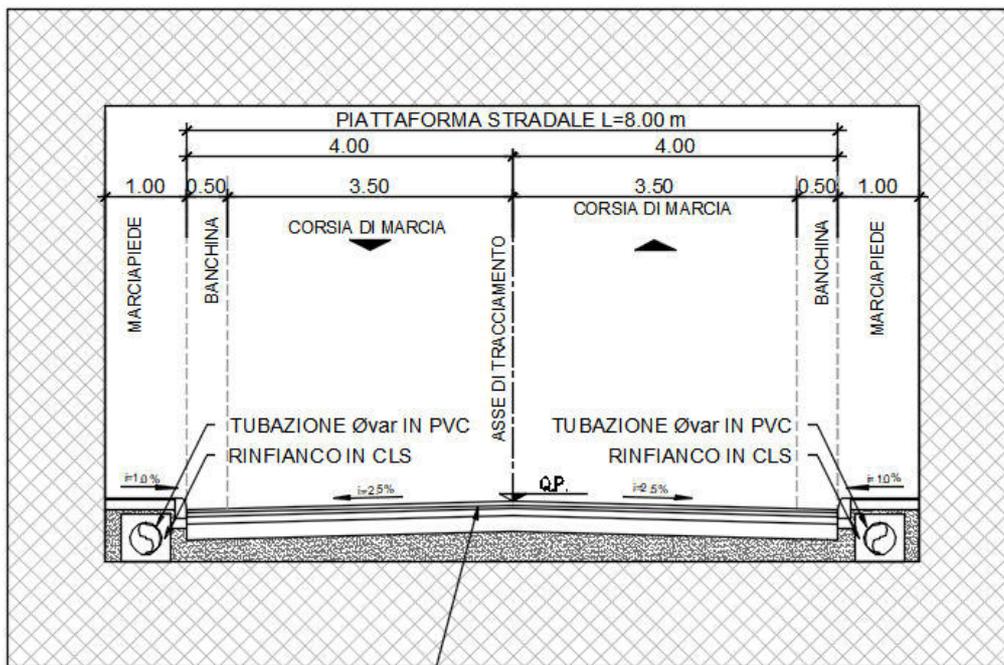


Figura 7 – Sezione tipo in sottovia

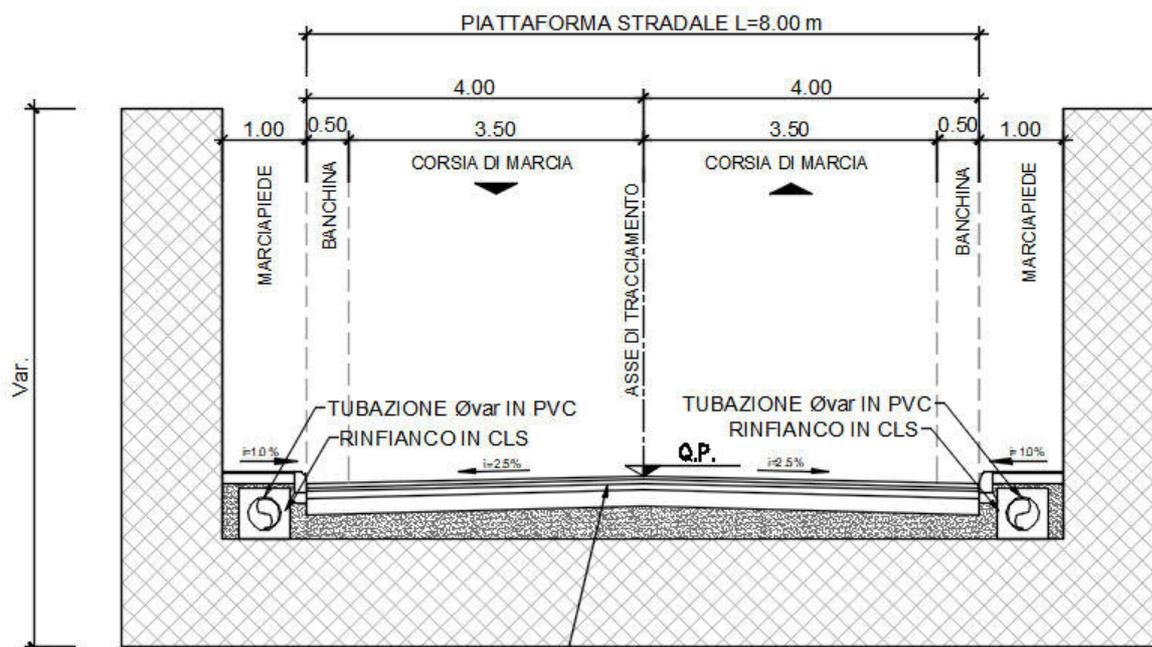


Figura 8 – Sezione tipo in trincea

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	15 di 45

Piazzali

Nei piazzali è stato previsto il seguente sistema di drenaggio delle acque meteoriche: rete mista formata da pozzetti con caditoia carrabile in ghisa sferoidale classe di resistenza D400. Il collegamento tra gli elementi di raccolta si effettua mediante condotte circolari in PVC di diametri variabili e dimensione minima 315 mm.

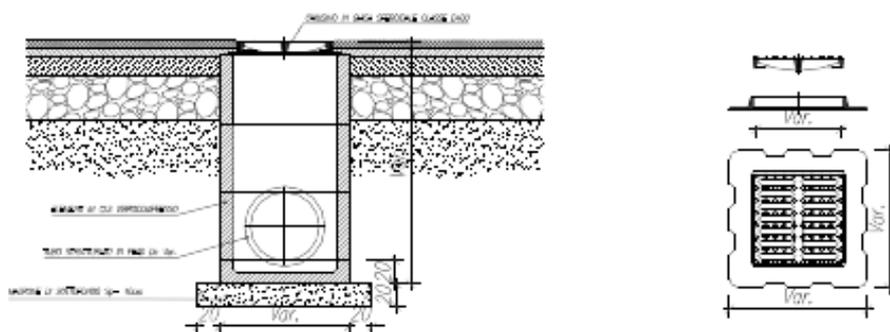


Figura 9-Tipologico pozzetto con caditoia

7 ANALISI IDROLOGICA

In questo capitolo viene esposta la metodologia seguita per ricavare le curve di possibilità pluviometrica, necessarie per la definizione dei parametri idrologici di progetto per le opere idrauliche oggetto di intervento.

7.1 TEMPI DI RITORNO

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2018).

In particolare, è stata valutata la funzionalità del sistema di drenaggio delle acque in risposta a eventi di precipitazione caratterizzati da un tempo di ritorno pari a:

- $Tr = 25$ anni per le opere idrauliche stradali e per i piazzali, non connessi al sistema di drenaggio ferroviario
- $Tr=100$ anni per le opere idrauliche ferroviarie.

7.2 STUDIO IDROLOGICO – METODOLOGIA VAPI

La metodologia seguita al fine di caratterizzare gli eventi pluviometrici di progetto è quella indicata nel progetto VaPi (Valutazione delle Piene in Italia), promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, nella specifica sezione dedicata alle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara (centro Italia).

Si è adottato un modello regionalizzato delle precipitazioni, associato a determinate zone per fornire i valori pluviometrici estremi con assegnato tempo di ritorno, applicabile al caso in esame.

Lo studio si articola in tre fasi: nella prima fase sono stati regionalizzati i massimi annuali delle piogge giornaliere; nella seconda la regionalizzazione è stata estesa alle relazioni intensità-durata-frequenza. Nella terza fase, infine, si è proceduto alla regionalizzazione delle portate di piena.

Per garantire l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati a livello nazionale è stato adottato il modello regionale TCEV, modificato al terzo livello attraverso l'introduzione di un modello a tre parametri per la valutazione delle piogge intense.

7.2.1 PLUVIOMETRIA

BASE DATI

L'area interessata dallo studio riguarda i bacini di competenza dell'Ufficio di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ossia il bacino del Tevere e i bacini minori con foce nel tratto laziale del litorale Tirrenico, tra il fosso Tafone (incluso) e il fiume Garigliano (escluso).

Per tenere conto delle informazioni al contorno la regionalizzazione delle piogge è stata eseguita su un'area molto più ampia, che interessa un intero tratto dell'Italia Centrale, che si estende dal promontorio di Piombino alla foce del Garigliano sul Tirreno, e include i litorali marchigiano e abruzzese sull'Adriatico.

Su questo territorio sono state considerate 964 stazioni pluviometriche, di cui sono state raccolte le serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere, giornaliere, la cui numerosità è indicata nella tabella 1:

numerosità della serie	<i>< 20</i>	<i>20 ÷ 29</i>	<i>≥ 30</i>
numero di stazioni	<i>206</i>	<i>131</i>	<i>627</i>

Tabella 1 - Numerosità delle serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere

Tra queste, 309 serie sono attrezzate con strumento registratore: sono state raccolte le serie delle piogge di massima intensità e breve durata, la cui numerosità è indicata nella tabella 2:

numerosità della serie	<i>10 ÷ 19</i>	<i>≥ 20</i>
numero di stazioni	<i>86</i>	<i>223</i>

Tabella 2 - Numerosità delle serie delle piogge di massima intensità e breve durata

Ai fini della regionalizzazione dei massimi annuali delle altezze di pioggia giornaliere sono state complessivamente utilizzate le serie di 628 stazioni pluviometriche, di cui 626 con numerosità di almeno

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	18 di 45

30 [anni] e 2 con numerosità compresa tra 30 e 20 [anni], queste ultime selezionate per coprire zone che altrimenti sarebbero rimaste scoperte.

Ai fini della regionalizzazione delle piogge di massima intensità e breve durata sono state complessivamente utilizzate le serie di 309 stazioni pluviometriche, di cui 86 con numerosità compresa tra 10 e 19 [anni].

PIOGGE GIORNALIERE

Per la distribuzione di probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliera, h_d , è stata adottata la legge TCEV, espressa nella forma:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1 e^{-\beta \frac{h_d}{\mu_{hd}} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\theta^*} e^{\frac{\beta h_d}{\theta^* \mu_{hd}}}} \quad (1)$$

dove μ_{hd} è la media di h_d , Λ^* e θ^* sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione, Λ_1 è un parametro che insieme ai due precedenti determina il coefficiente di variazione, e β è una funzione dei tre precedenti parametri.

Sostituendo nella (1) il coefficiente di crescita:

$$k = \frac{h_d}{\mu_{hd}} \quad (2)$$

Si ottiene:

$$P(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\beta k} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\theta^*} e^{-\frac{\beta}{\theta^*} k}} \quad (3)$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita $k(T)$ della variabile h_d , dove T è il tempo di ritorno di h_d :

$$T = \frac{1}{1 - P(k)} \quad (4)$$

La (3) non è purtroppo esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita con la seguente espressione approssimata, valida per:

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	19 di 45

$$0,1 \leq \Lambda^* \leq 0,9$$

$$1,1 \leq \Theta^* \leq 10$$

Posto:

$$x = \ln\{-\ln[-P(k)]\}$$

$$x_o = \frac{\Theta^*}{1-\Theta^*} \ln \Lambda^*$$

$$A = 0,8288(\Theta^* - 0,4315)^{0,3456}$$

per $x \leq x_o$:

$$k = \frac{x + Ae^{-B_1(x_o - x)} C_1}{\beta}$$

con:

$$B_1 = 1,345 \frac{\Theta^* - 1}{(\Theta^* - 1,092)^{0,9319}}$$

$$C_1 = 0,8118 + 0,2453e^{-0,1731(\Theta^* - 1)}$$

per $x \geq x_o$:

$$k = \frac{\Theta^*(x + \ln \Lambda^*) + Ae^{-B_2(x - x_o)} C_2}{\beta}$$

con:

$$B_2 = 0,6501(\Theta^* - 1) + 0,009705(\Theta^* - 1)^2$$

$$C_2 = 1 + 0,08680(\Theta^* - 1)^{0,5942}$$

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	20 di 45

Al primo e al secondo livello di regionalizzazione sono state identificate tre regioni omogenee, in cui l'ipotesi della costanza del coefficiente di variazione e del coefficiente di asimmetria può essere accettata, rappresentate nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, indicate come:

- zona A (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- zona B (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propagini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- zona C (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

I parametri Λ^* e θ^* , determinati al primo livello di regionalizzazione per le tre zone, sono indicati nella Tabella 3.

regione	Λ^*	θ^*
<i>A</i>	<i>0,174</i>	<i>3,490</i>
<i>B</i>	<i>0,762</i>	<i>1,241</i>
<i>C</i>	<i>0,795</i>	<i>2,402</i>

Tabella 3 -- Parametri del primo livello di regionalizzazione

Il parametro Λ_1 , determinato al secondo livello di regionalizzazione per le tre zone, e la corrispondente funzione β sono indicati nella Tabella 4.

Regione	Λ_1	β
<i>A</i>	<i>29,31</i>	<i>4,480</i>
<i>B</i>	<i>22,02</i>	<i>4,359</i>
<i>C</i>	<i>27,81</i>	<i>5,301</i>

Tabella 4 -- Parametri al secondo livello di regionalizzazione

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (3) per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita KT. Per la distribuzione TCEV tale

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	21 di 45

relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tabella 5, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (3) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZOA)	0.89	1.22	1.49	1.84	1.97	2.29	2.45	2.98	3.52	4.23	4.77
K_T (SZOB)	0.96	1.25	1.45	1.64	1.70	1.83	1.89	2.07	2.26	2.51	2.70
K_T (SZOC)	0.90	1.29	1.59	1.90	2.01	2.22	2.32	2.64	2.96	3.38	3.70

Tabella 5 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge giornaliere, per alcuni valori del periodo di ritorno T

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento alle seguenti espressioni semplificate:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T \quad (5)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV nell'area esaminata, diventa:

$$\text{(SZOA)} \quad K_T = -0.6086 + 0.779 \text{Ln } T$$

$$\text{(SZOB)} \quad K_T = 0.6419 + 0.289 \text{Ln } T$$

$$\text{(SZOC)} \quad K_T = 0.5296 + 0.459 \text{Ln } T \quad (6)$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 10 [anni], l'errore nell'uso delle (6) in luogo della (3) è sempre inferiore al 10 [%].

PIOGGE BREVI

Considerata la relativa limitatezza dei dati pluviografici rispetto alla quantità di dati pluviometrici, è stato elaborato un modello probabilistico, relativo alle piogge brevi che impiega l'informazione regionale stabilita per i massimi annuali delle piogge giornaliere.

Per impiegare l'informazione regionale, si è assunta l'ipotesi che la curva di crescita, stabilita per i massimi delle piogge giornaliere, sia valida anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore.

7.2.2 STIMA DEL VALOR MEDIO – LEGGI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE

PIOGGE GIORNALIERE

Al terzo livello di regionalizzazione sono state individuate delle *zone omogenee* in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera μ_{hd} , che prende il nome di *pioggia indice*, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

$$m[h_g] = C Z + D \quad (7)$$

I parametri della (7) non assumono unico valore per l'intera regione esaminata: è stato invece possibile identificare delle aree pluviometriche omogenee (APO), in ognuna delle quali se ne può ottenere una stima univoca. Sono state individuate 78 APO, rappresentate nelle figure seguenti, in cui i parametri della regressione assumono i valori indicati nella Tabella 6.

PIOGGE BREVI

Il terzo livello di regionalizzazione per le piogge di massima intensità e breve durata è stato svolto seguendo la procedura definita "Metodo delle Zone Omogenee" indicata nel VaPi e illustrata nel seguente paragrafo.

METODO DELLE ZONE OMOGENEE

Per ottenere le leggi di probabilità pluviometrica, l'elaborazione effettuata è stata rivolta a stabilire una relazione durata-intensità-frequenza, attraverso una legge del tipo:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m} \quad (8a)$$

Dove:

- b è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t , sia dal tempo di ritorno;

- m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;
- $a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La (8a) può essere messa nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

dove $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T . La *pioggia indice* è data dalla media di i_t , che risulta:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (8b)$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Il coefficiente di crescita da introdurre nella (3) è quindi:

$$k = \frac{i_t}{\mu_{i0}} \left(\frac{b+t}{b} \right)^m$$

L'esponente m e il parametro di deformazione temporale b sono stati assunti indipendenti dal tempo di ritorno T , in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno. Per ricavare tali parametri sono state fatte le seguenti ipotesi:

A. su tutto il territorio considerato:

- a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} :

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \mu_{id} \quad (9)$$

dove il coefficiente di proporzionalità è assunto costante su tutto il territorio considerato, con valore $\delta = 1,15$;

- b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di Roma (Macao):

$$r = \frac{\mu_{i5'}}{\mu_{i1}} = \left(\frac{b+1}{b+0,0833} \right)^m = 3,36$$

da cui si ricava per ciascuna zona omogenea il coefficiente di trasformazione temporale:

$$b = \frac{1 - 0,0833r^{1/m}}{r^{1/m} - 1} \quad (10)$$

B. sulle zone omogenee identificate per i massimi giornalieri dell'anno:

a) l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}} \quad (11)$$

dove $\bar{\mu}_{i0}$ e $\bar{\mu}_{hd}$ sono la media sulla zona omogenea di μ_{i0} e μ_{hd} .

Da queste ipotesi si ricava per ciascuna zona omogenea l'esponente:

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}}\right)}{\ln\left[1 + \frac{24(r^{1/m} - 1)}{1 - 0,0833r^{1/m}}\right]} \quad (12)$$

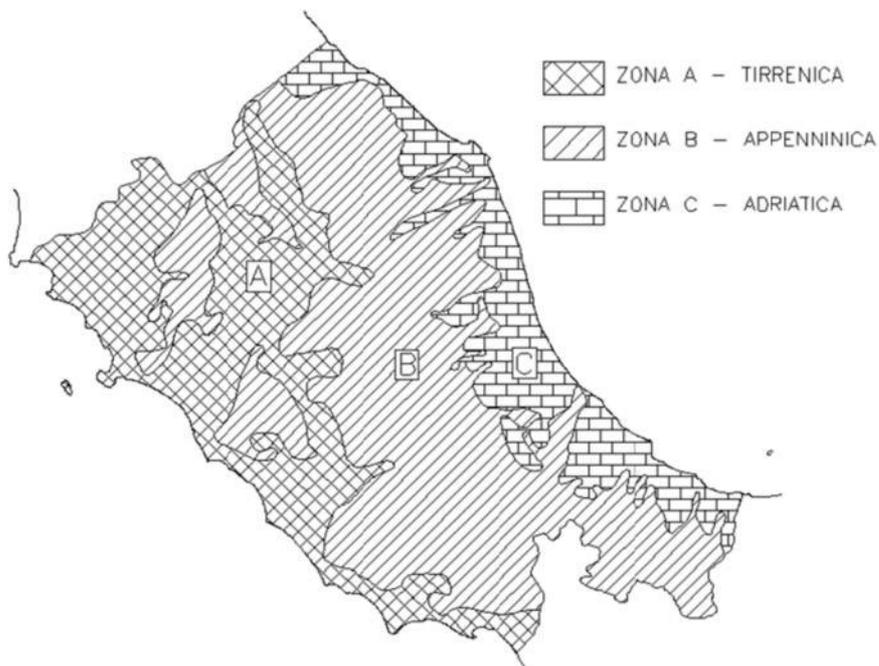


Figura 10 - Zone omogenee del I e II livello di regionalizzazione

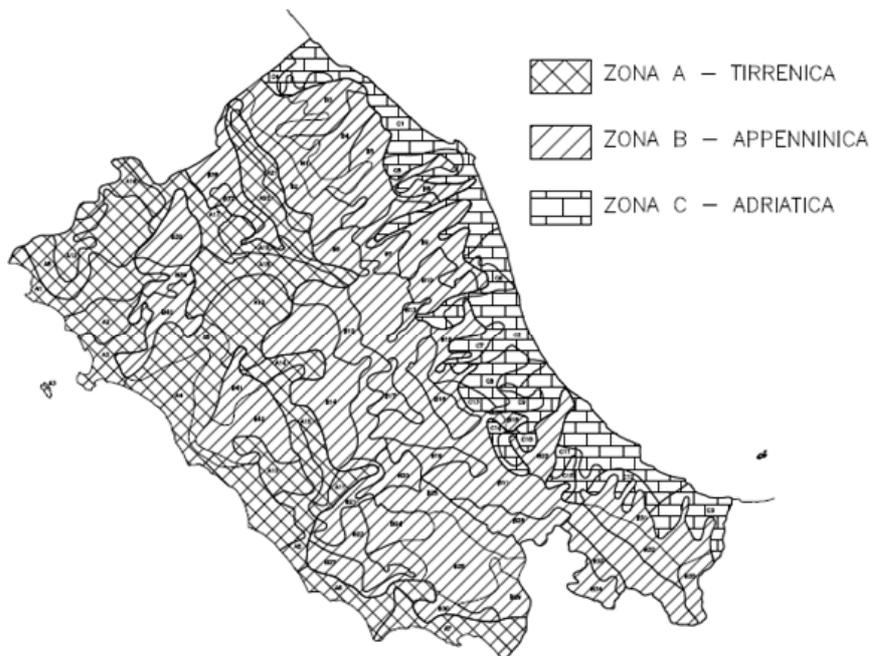


Figura 11 – APO (Aree Pluviometriche Omogenee) del III livello di regionalizzazione

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	26 di 45

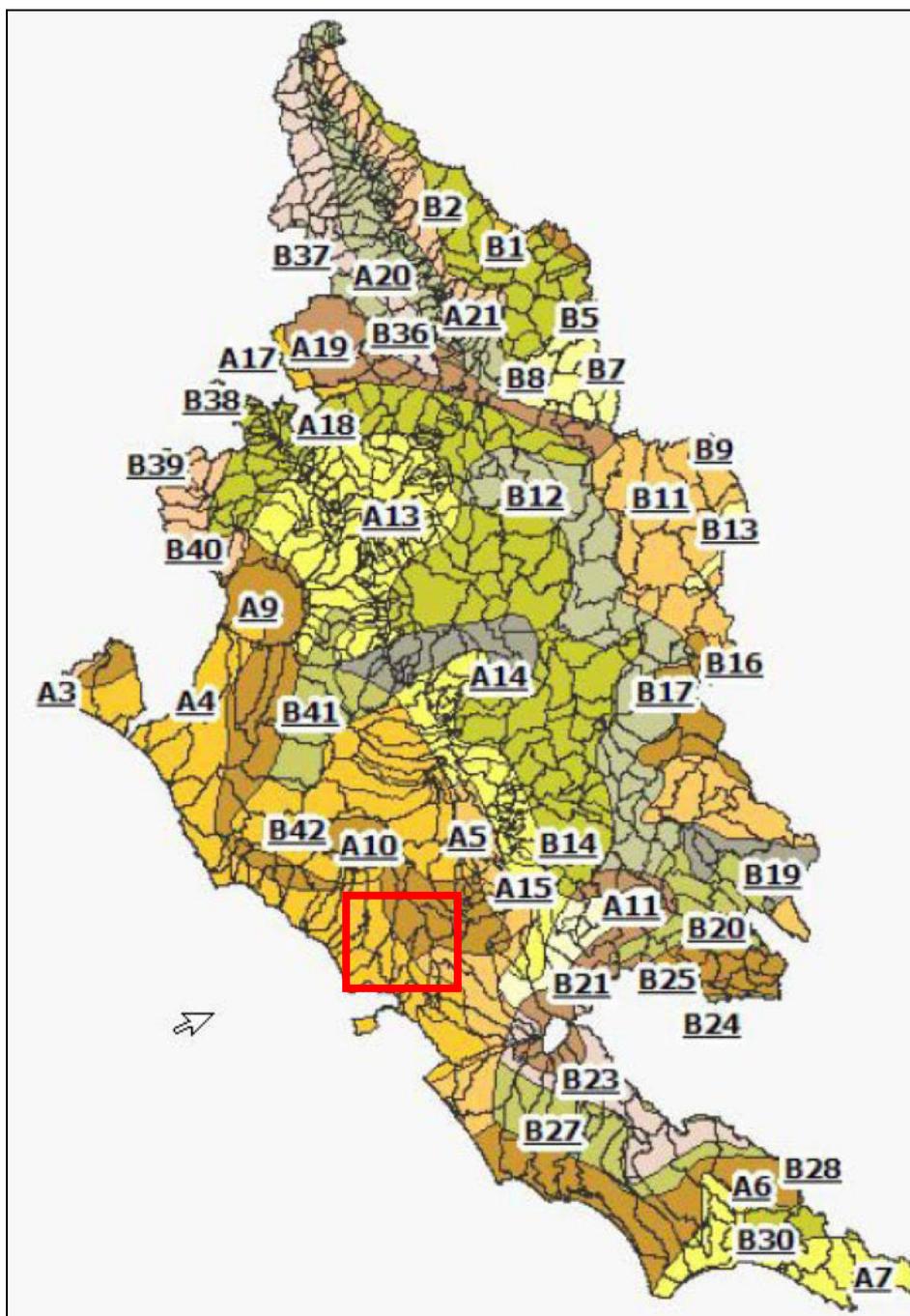


Figura 12 - Sottozone VAPI per l'ex Compartimento di Roma del SIMN

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	27 di 45

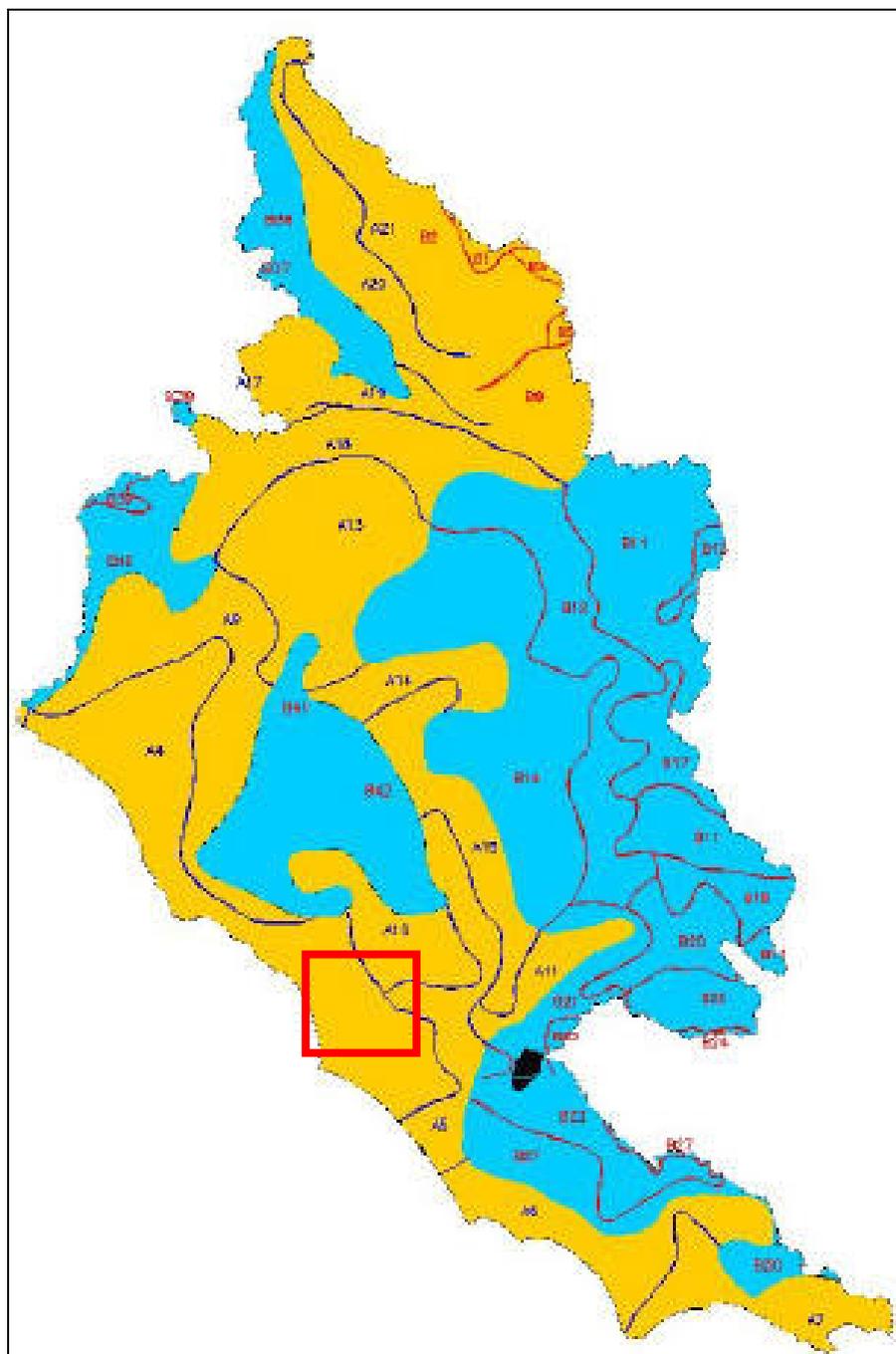


Figura 13 - Sottozone VAPI per i bacini considerati

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	28 di 45

Sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)	sottozona	N	c (mm/m)	D (mm)
A1	10	0,01892	55,64	B19	6	0,01418	36,02
A2	8	0,02785	59,22	B20	5	0,01098	57,23
A3	9	0,02738	64,43	B21	6	0,15691	16,83
A4	13	0,03390	67,67	B22	7	0,01890	76,65
A5	7	0,03031	60,09	B23	5	0,04972	60,54
A6	8	0,13518	66,15	B24	7	0,07960	30,38
A7	7	0,03582	67,72	B25	10	0,02089	64,28
A8	16	0,01680	62,79	B26	9	0,13532	-48,29
A9	7	0,02671	61,61	B27	5	0,05786	67,35
A10	5	0,06301	67,83	B28	12	0,03599	63,18
A11	3	0,07624	41,70	B29	5	0,03152	87,30
A12	6	0,01510	72,77	B30	4	0,05066	68,93
A13	9	0,02714	50,42	B31	11	0,00116	60,07
A14	4	0,02517	62,33	B32	7	0,04004	27,64
A15	4	0,03647	68,78	B33	6	0,01264	54,93
A16	4	0,02592	52,00	B34	4	0,25615	-85,09
A17	7	0,10165	15,14	B35	5	0,07432	15,64
A18	11	0,02208	58,80	B36	7	0,05270	40,46
A19	5	0,03408	41,11	B37	2	0,03513	33,42
A20	7	0,03637	49,62	B38	10	0,01874	40,79
A21	4	0,02854	43,38	B39	4	0,04514	38,13
B1	13	0,03028	43,52	B40	8	0,04250	58,21
B2	5	0,02250	42,59	B41	4	0,08894	34,37
B3	11	0,03478	49,18	B42	9	0,02237	71,20
B4	10	0,02747	62,61	C1	19	0,00482	57,46
B5	13	0,03136	53,96	C2	34	0,02822	64,04
B6	6	0,03764	44,54	C3	8	0,05900	42,12
B7	9	0,01863	49,36	C4	5	0,06381	49,63
B8	4	0,02219	50,91	C5	6	0,01574	61,16
B9	16	0,04346	46,32	C6	5	0,01374	58,39
B10	9	0,04145	37,12	C7	5	0,00985	62,40
B11	44	0,02300	35,60	C8	7	0,07690	50,19
B12	13	0,04292	45,49	C9	6	0,02767	51,23
B13	2	0,01793	20,47	C10	7	0,11377	38,98
B14	13	0,05343	55,04	C11	5	0,02573	57,44
B15	6	0,00133	69,69	C12	4	0,02395	44,17
B16	12	0,02565	22,88	C13	3	0,04634	-5,21
B17	5	0,00722	64,41	C14	4	0,03350	32,01
B18	3	0,00128	62,43	C15	4	0,00655	57,57

Tabella 6 – Terzo livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota

I valori regionali dei parametri b , m e $\frac{F_{50}}{F_{10}}$ che compaiono nella (9) sono riportati nella **Errore**.
L'origine riferimento non è stata trovata..

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	29 di 45

Sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}	sottozona	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}
A1	0,1660	0,7810	4,890	B19	0,1135	0,6951	4,148
A2	0,1528	0,7597	4,683	B20	0,1170	0,7010	4,190
A3	0,1454	0,7478	4,574	B21	0,1585	0,7690	4,772
A4	0,1705	0,7881	4,962	B22	0,1101	0,6895	4,108
A5	0,1621	0,7748	4,828	B23	0,1398	0,7387	4,494
A6	0,1137	0,6955	4,150	B24	0,1040	0,6792	4,038
A7	0,1054	0,6816	4,054	B25	0,0986	0,6700	3,980
A8	0,1323	0,7263	4,389	B26	0,0908	0,6565	3,902
A9	0,1502	0,7555	4,645	B27	0,1366	0,7335	4,449
A10	0,1415	0,7415	4,518	B28	0,1168	0,7007	4,188
A11	0,1744	0,7943	5,026	B29	0,0895	0,6542	3,889
A12	0,1251	0,7145	4,293	B30	0,1222	0,7097	4,256
A13	0,1484	0,7526	4,618	B31	0,0902	0,6555	3,896
A14	0,1521	0,7586	4,673	B32	0,1071	0,6844	4,073
A15	0,1326	0,7269	4,393	B33	0,0806	0,6389	3,813
A16	0,1427	0,7434	4,535	B34	0,0940	0,6620	3,933
A17	0,1728	0,7917	5,000	B35	0,0977	0,6684	3,971
A18	0,1498	0,7549	4,639	B36	0,1434	0,7446	4,545
A19	0,1729	0,7919	5,002	B37	0,1141	0,6962	4,156
A20	0,1456	0,7482	4,577	B38	0,1670	0,7826	4,906
A21	0,1437	0,7450	4,549	B39	0,0971	0,6674	3,965
B1	0,1168	0,7006	4,188	B40	0,1136	0,6953	4,149
B2	0,1603	0,7718	4,799	B41	0,1673	0,7830	4,911
B3	0,1252	0,7146	4,294	B42	0,1279	0,7190	4,329
B4	0,1015	0,6748	4,010	C1	0,1408	0,7403	4,508
B5	0,1302	0,7230	4,361	C2	0,1107	0,6905	4,115
B6	0,1354	0,7314	4,431	C3	0,1156	0,6986	4,173
B7	0,1275	0,7185	4,325	C4	0,1123	0,6932	4,134
B8	0,1768	0,7981	5,066	C5	0,1281	0,7195	4,333
B9	0,1455	0,7479	4,575	C6	0,0957	0,6650	3,950
B10	0,1136	0,6953	4,149	C7	0,1129	0,6942	4,141
B11	0,1035	0,6782	4,032	C8	0,1001	0,6725	3,996
B12	0,1097	0,6887	4,102	C9	0,1076	0,6852	4,079
B13	0,0685	0,6173	3,730	C10	0,1034	0,6781	4,031
B14	0,1380	0,7357	4,468	C11	0,1101	0,6895	4,108
B15	0,1048	0,6804	4,047	C12	0,1100	0,6894	4,107
B16	0,1051	0,6811	4,051	C13	0,0821	0,6414	3,825
B17	0,0889	0,6532	3,884	C14	0,0897	0,6547	3,892
B18	0,1167	0,7005	4,187	C15	0,0863	0,6488	3,861

Tabella 7 - Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	30 di 45

Per il dimensionamento e la verifica di elementi idraulici è stata utilizzata la legge del tipo:

$$i_i(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m}$$

è stata ricondotta ad una forma binomiale, del tipo:

$$i_i(T) = a'(T) \cdot t^{n'-1}$$

dove I parametri $a'(T)$ e n' sono stati ricavati dalla legge di potenza che interpola i valori dell'intensità di pioggia associati alle durate, come mostrato di seguito.

I° e II° Livello di regionalizzazione: **A**

III° Livello di regionalizzazione (APO): A5– Z = **76** [m s.l.m.]

TR	CCP - 3 PARAMETRI			i [mm/h] - CPP 3 PARAMETRI													
	a_i (TR)	b	m	1	5	10	15	20	25	30	45	60	120	180	360	720	1440
[anni]	[mm/h^n]	[h]	[-]	0.017	0.083	0.167	0.25	0.333	0.417	0.50	0.75	1	2	3	6	12	24
2	31.3	0.16	0.77	118.9	93.0	74.2	62.3	54.0	47.9	43.1	33.7	27.9	17.2	12.8	7.7	4.5	2.7
3	36.5	0.16	0.77	138.5	108.4	86.4	72.5	62.9	55.7	50.2	39.2	32.5	20.1	15.0	8.9	5.3	3.1
5	42.8	0.16	0.77	162.6	127.2	101.4	85.1	73.8	65.4	59.0	46.0	38.1	23.6	17.6	10.5	6.2	3.6
10	52.5	0.16	0.77	199.1	155.7	124.2	104.2	90.4	80.1	72.2	56.3	46.7	28.9	21.5	12.8	7.6	4.4
25	69.5	0.16	0.77	263.8	206.4	164.6	138.1	119.8	106.2	95.7	74.6	61.9	38.2	28.5	17.0	10.0	5.9
30	73.7	0.16	0.77	279.7	218.8	174.5	146.4	127.0	112.6	101.4	79.1	65.6	40.5	30.2	18.0	10.6	6.2
50	86.5	0.16	0.77	328.2	256.7	204.7	171.8	149.0	132.1	119.0	92.9	77.0	47.6	35.4	21.1	12.5	7.3
100	105.1	0.16	0.77	398.9	312.0	248.8	208.9	181.1	160.5	144.6	112.9	93.5	57.8	43.1	25.7	15.2	8.9
200	124.1	0.16	0.77	471.0	368.4	293.8	246.6	213.8	189.6	170.8	133.3	110.5	68.3	50.9	30.3	17.9	10.5
300	135.2	0.16	0.77	513.3	401.5	320.2	268.8	233.0	206.6	186.1	145.2	120.4	74.4	55.4	33.1	19.5	11.5
500	149.3	0.16	0.77	566.6	443.2	353.4	296.7	257.2	228.0	205.5	160.3	132.9	82.1	61.2	36.5	21.5	12.7
1000	168.3	0.16	0.77	638.9	499.8	398.5	334.5	290.0	257.1	231.7	180.8	149.8	92.6	69.0	41.1	24.3	14.3

Tabella 8 - LSPP con curva a 3 parametri – Tr ∈ [2,3,5,10,25,30,50,100,200,300,500,1000]

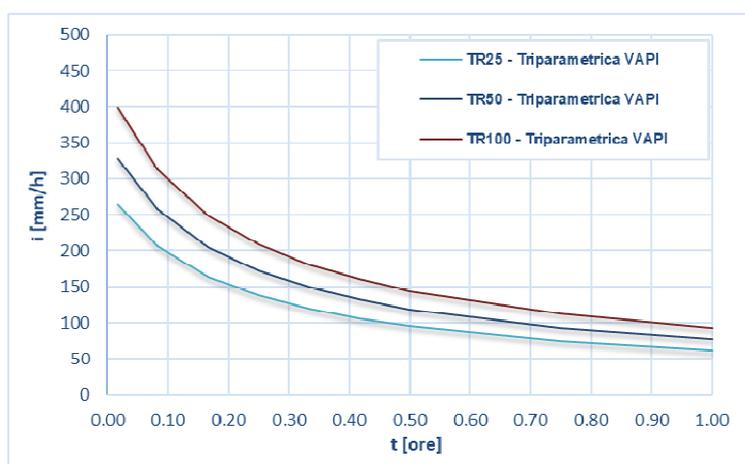


Figura 14 - LSPP a 3 parametri

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	31 di 45

Il grafico e la tabella seguente mostrano la ricostruzione delle LSPP (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica) a 2 parametri a partire dalla curva a 3 parametri, in funzione di differenti valori del periodo di ritorno: 25, 50, 100 anni.

TR	CCP - 2 PARAMETRI		i [mm/h] - CPP 2 PARAMETRI													
	a	n	1	5	10	15	20	25	30	45	60	120	180	360	720	1440
[anni]	[mm/h]	[-]	0.0167	0.0833	0.1667	0.2500	0.3333	0.4167	0.5000	0.7500	1	2	3	6	12	24
25	74.983	0.644	322.10	181.61	141.90	122.83	110.87	102.40	95.97	83.07	74.98	58.59	50.71	39.62	30.96	24.19
50	93.280	0.644	400.69	225.93	176.53	152.80	137.93	127.39	119.39	103.34	93.28	72.88	63.09	49.29	38.51	30.09
100	113.370	0.644	486.99	274.59	214.55	185.71	167.63	154.83	145.10	125.60	113.37	88.58	76.67	59.91	46.81	36.57

Tabella 9 - LSPP con curva a 2 parametri – Tr ∈ [25,50,100]

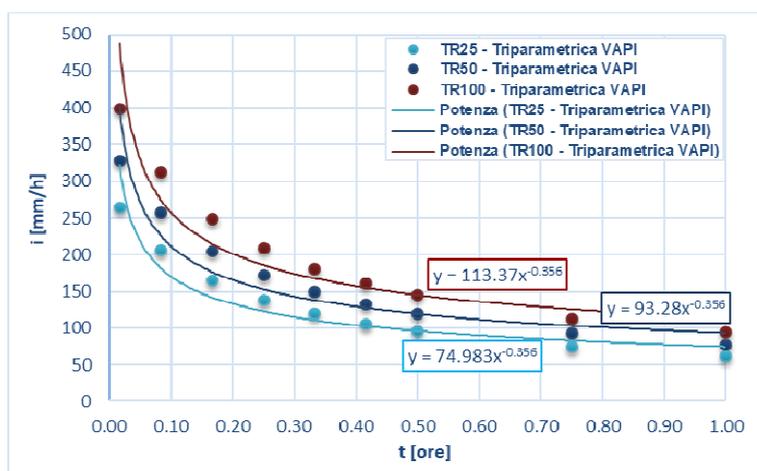


Figura 15 - LSPP a 2 parametri ricavata

7.2.3 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO

Ai fini del presente progetto sono stati presi in esame i valori di precipitazione relativi ai seguenti tempi di ritorno:

- Tr 100 anni: smaltimento acque meteoriche afferenti alla linea ferroviaria
- Tr 25 anni: smaltimento acque meteoriche afferenti ai piazzali e le viabilità

Le leggi IDF utilizzate per il dimensionamento delle opere idrauliche sono rappresentate di seguito.

<i>TR</i>	<i>CCP - 3 PARAMETRI</i>		
	<i>a_i (TR)</i>	<i>b</i>	<i>m</i>
<i>[anni]</i>	<i>[mm/hⁿ]</i>	<i>[h]</i>	<i>[-]</i>
25	69.51	0.16	0.775
100	105.09	0.16	0.775

Tabella 10 – LSPP di progetto a tre parametri

<i>TR</i>	<i>CCP - 2 PARAMETRI</i>	
	<i>a_i (TR)</i>	<i>b</i>
<i>[anni]</i>	<i>[mm/hⁿ]</i>	<i>[h]</i>
25	74.98	0.644
100	113.37	0.644

Tabella 11 - LSPP di progetto a due parametri

La legge a tre parametri è stata utilizzata per il dimensionamento delle vasche di laminazione e per gli impianti di sollevamento per evitare di sovrastimare in maniera eccessiva i volumi di progetto.

Il dimensionamento delle canalette drenanti è stato effettuato invece mediante l'utilizzo della legge a due parametri .

8 ANALISI IDRAULICA

Nel presente capitolo si riporta il dimensionamento idraulico dei principali manufatti costituenti il sistema di drenaggio, ovvero: vasche di laminazione e canalette drenanti. Sono inoltre stimate le portate afferenti agli impianti di sollevamento previsti in progetto.

8.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Per il calcolo del volume di laminazione da assegnare alle vasche e alle canalette drenanti è stato adottato il metodo dello sole piogge. Le dimensioni calcolate sono tali da garantire un volume di invaso per una durata di pioggia almeno pari a 10 ore.

Per la stima delle portate in arrivo agli impianti di sollevamento delle gallerie ferroviarie e stradali (S1, S2 e S3) è stato adottato in questa fase il metodo della corrivazione, considerando un tempo di concentrazione di 10 min. Nella successiva fase di progettazione definitiva si procederà al dimensionamento della rete drenate a monte, con il metodo dell'invaso, e al calcolo della portata da sollevare agli impianti. La portata da sollevare agli impianti S4 e S5 è stata invece determinata in funzione della portata limite allo scarico assunta pari a 25 l/s/ha.

8.1.1 METODO DELLA CORRIVAZIONE (MODELLO CINEMATICO)

Il metodo della corrivazione, detto anche modello cinematico o metodo aree-tempi, considera prevalenti nel bacino i fenomeni di traslazione dell'acqua. Il bacino è schematizzato come un insieme di canali lineari e si assume come ipotesi di base che il tempo impiegato dalla precipitazione efficace per raggiungere la sezione di chiusura a partire da un generico punto del bacino è invariante e dipende soltanto dalla posizione del punto di origine.

Ne consegue che esiste un tempo di base T_0 , che nel caso specifico è denominato tempo di corrivazione T_c del bacino, definito come il tempo necessario alla particella d'acqua che cade nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per tale modello si assume anche che si possa suddividere il bacino in un numero di linee, dette isocorve, delimitate da linee che uniscono i punti di uguale tempo di corrivazione rispetto alla sezione di chiusura. Inoltre, per l'ipotesi di linearità e stazionarietà, è possibile considerare la portata nella sezione

di chiusura in un generico istante come somma dei contributi delle diverse linee isocorrive, opportunamente traslati nel tempo per tenere conto del tempo di corrivazione di ciascuna fascia.

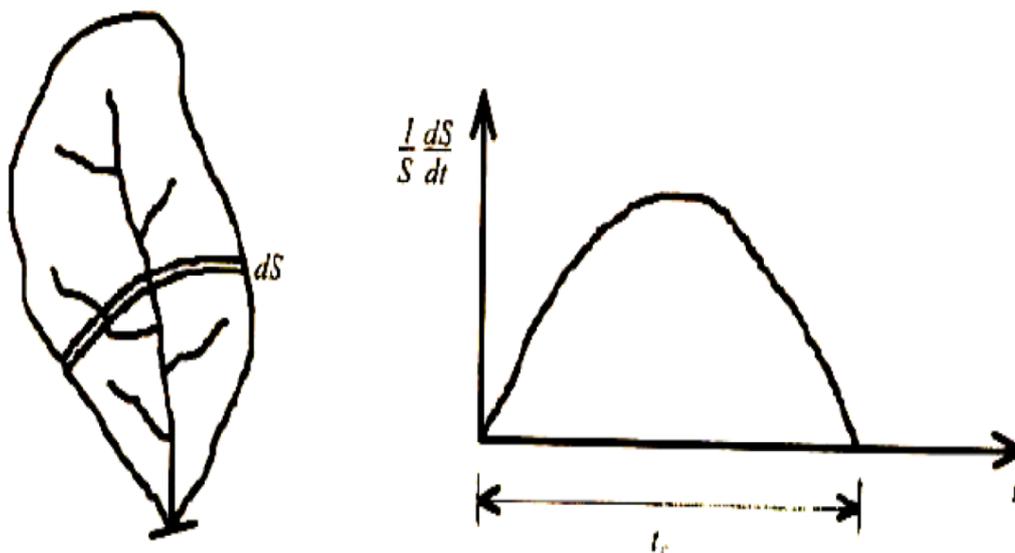


Figura 16 – Rappresentazione del bacino e del relativo IUH (CSDU)

L'IUH va dedotto dalla cosiddetta curva cumulata aree-tempi $S = s(t)$ del bacino; essa rappresenta le aree s_i del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo t di corrivazione. La curva $s(t)$ è quindi una curva crescente dall'origine al punto di coordinate (S, T_c) essendo S la superficie complessiva del bacino.

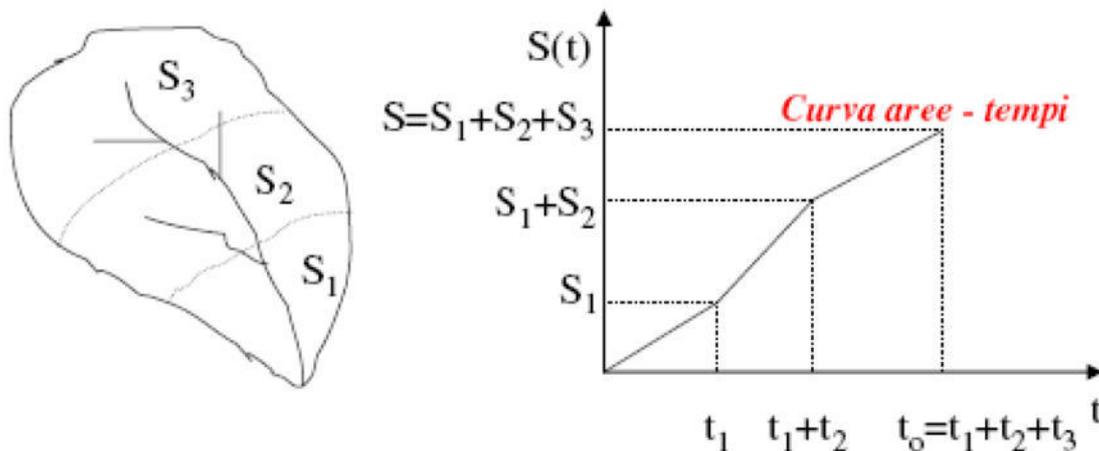


Figura 17 – Curva aree-tempi per un bacino delimitato dalla sezione di chiusura

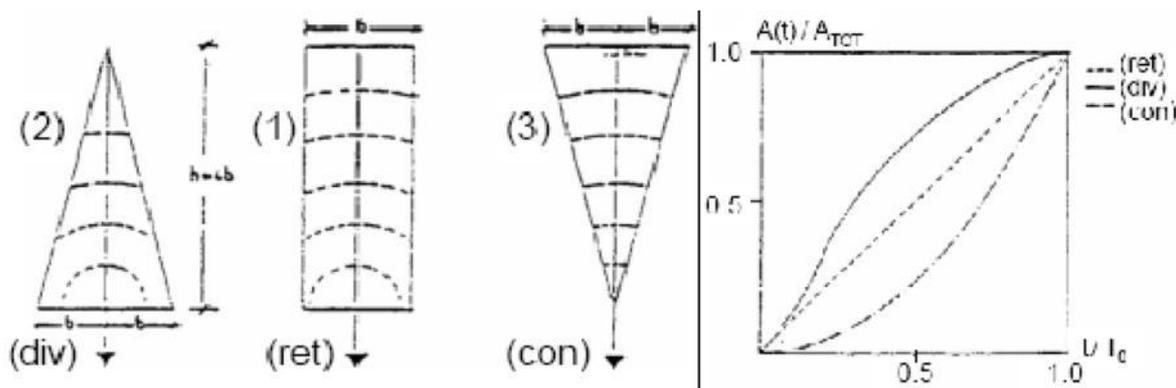


Figura 18 – Curva aree-tempi diverse per uno stesso bacino, delimitato dalla sezione di chiusura

Per i bacini serviti da una rete di drenaggio artificiale la costruzione della curva aree-tempi è abbastanza semplice, se si ammette, seguendo la metodologia tradizionale che i tempi di corrivazione siano legati ai tempi impiegati dalle acque a percorrere i singoli tronchi della rete.

I tempi di traslazione in rete possono infatti essere stimati approssimativamente pari al rapporto tra la lunghezza di ogni tronco e la velocità $V_{u, i}$, di moto uniforme in condizioni di massimo riempimento.

Partendo dalla sezione di chiusura e risalendo verso monte, seguendo il percorso più lungo della rete fognaria, si debbono quindi cumulare i tempi di percorrenza dei singoli tronchi e le rispettive superfici scolanti.

Nella figura seguente è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre altezze di pioggia in input di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione). Si noti come per un tempo di pioggia pari a quello di corrivazione, l'idrogramma di piena assume la forma triangolare, con il picco di portata che transita attraverso la sezione di chiusura del bacino proprio al tempo τ_c .

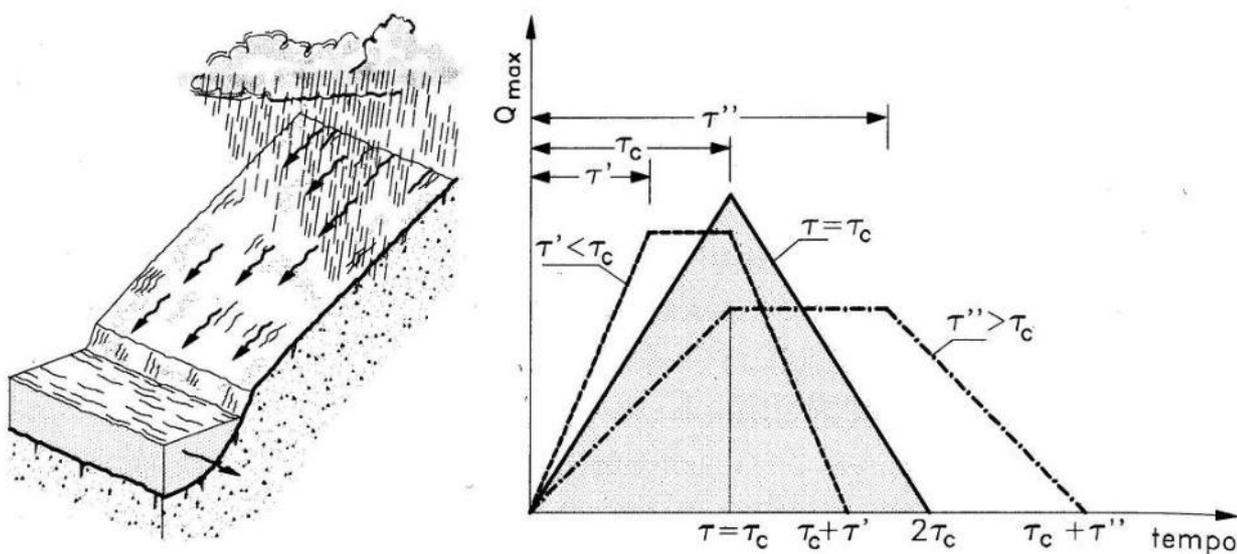


Figura 19 – Metodo cinematico: idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura a percorrere l'intero bacino fino alla stessa.

Questo parametro può essere determinato facendo riferimento al percorso idraulico più lungo (asta principale) della rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura considerata.

In generale, quindi, il tempo di corrivazione del bacino è dato da:

$$t_c = t_a + t_r$$

e cioè dalla somma t_r (tempo di rete) e del tempo di entrata t_a (tempo di accesso).

Il tempo di rete è dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singola canalizzazione seguendo il percorso più lungo della rete fognaria, pertanto sarà dato dall'espressione

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{V_{ui}}$$

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	37 di 45

dove V_u e' la velocita' di moto uniforme che assume la portata di piena nelle singole canalizzazioni [Ippolito, 1993].

Ulteriori ricerche svolte presso il Politecnico di Milano [Mignosa e altri, 1995] [Becciu e altri, 1997], basate sulla taratura probabilistica della formula razionale in base a simulazioni di serie estese di eventi reali, mostrano che il criterio di far riferimento alla velocita di moto uniforme porterebbe ad apprezzabili sovrastime del tempo di concentrazione, e pertanto a sottostime della portata al colmo. Risultati soddisfacenti si ottengono, invece, facendo riferimento a una velocita pari a $1,5 V_u$; ne consegue, in base a dette ricerche, che il tempo di rete deve essere calcolato con l'espressione di Becciu, Mambretti e Paoletti:

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{1,5V_{ui}}$$

nella quale la sommatoria va estesa a tutti i rami che costituiscono il percorso più lungo della rete fognaria.

Il tempo di accesso è stato sempre di incerta determinazione, ma per i bacini urbani la taratura derivante dall'estesa esperienza ormai acquisita nella progettazione e verifica di molte reti di drenaggio, ha condotto ad assumere per t_a valori normalmente compresi tra (5÷15) [minuti], in funzione della densità dell'urbanizzazione, della dimensione dell'area scolante presa in esame e dell'intensità dell'evento meteorico.

Si riportano i valori del tempo di accesso per alcuni tipi di bacini.

TIPO DI BACINI	t_a [min]
Centri urbani intensivi con tetti collegati direttamente alle canalizzazioni e con frequenti caditoie stradali	5 ÷ 7
Centri urbani semi intensivi con pendenze modeste e caditoie stradali meno frequenti	7 ÷ 10
Aree urbane di tipo estensivo con piccole pendenze e caditoie stradali poco frequenti	10 ÷ 15

Tabella 12 - Tempi di ingresso in rete per diverse tipologie di bacino (CSDU)

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	38 di 45

Ottenuta la curva aree-tempi del bacino, si può procedere al calcolo dell'idrogramma prodotto da una generica pioggia $p(t)$ considerando una schematizzazione alle differenze finite con intervallo temporale Δt sufficientemente breve.

Nel caso in esame, considerata la limitatezza delle dimensioni dei bacini di drenaggio di ogni collettore (comprese tra 50 e 80 [m²]) e dell'estensione delle reti, si è proceduto approssimando la curva area-tempi dei bacini ad una retta e il modello utilizzato risulta perciò semplificato, ma cautelativo.

Nel caso di pioggia netta costante i , di durata $\theta > T_c$, e per una curva aree-tempi $S(t)$ lineare si ha:

$$\bullet s(t) = S \cdot \frac{\theta}{t_c} \quad \text{per } \theta \leq t_c$$

$$\bullet s(t) = S \quad \text{per } \theta \geq t_c$$

Per la durata critica $\theta_c = T_c$ la portata critica risulta:

$$q(t = t_c, \theta = \theta_c) \Rightarrow q_c = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_c^{n-1}$$

dove φ = coefficiente di afflusso del bacino = volume defluito/volume affluito.

L'acqua di pioggia proveniente dall'atmosfera produce una portata che viene indicata con P , mentre con I viene indicata l'intensità di pioggia (o di precipitazione), cioè l'altezza d'acqua che cade nell'unità di tempo.

Dell'intera quantità (volume) di acqua piovuta una parte viene assorbita dal terreno (infiltrazione), una parte evapora (evapo-traspirazione) ed il resto defluisce; la porzione che evapora è trascurabile.

Per il calcolo delle portate di pioggia è stato utilizzato il Metodo Razionale.

La formula razionale per la previsione della portata di massima piena è direttamente dedotta dal metodo cinematico, nell'ipotesi che la durata della pioggia critica sia pari al tempo di corrivazione t_c :

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c} \quad (m^3/s)$$

dove:

Q = Portata massima espressa in [m³/s];

S = Superficie dell'area afferente in [m²];

c = Coefficiente di deflusso;

h = Altezza di precipitazione [mm/h], corrispondente ad una durata dell'evento di pioggia critico pari al tempo di corrivazione t_c e dipendente dal tempo di ritorno T_r ;

La formula razionale è rigorosa sotto le seguenti ipotesi:

- Intensità di precipitazione uniforme nello spazio e costante nel tempo;
- Coefficiente di deflusso costante durante l'evento e indipendente dall'intensità di precipitazione;
- Portata nulla all'istante iniziale.

Il coefficiente **c** è un parametro minore dell'unità tramite il quale si tiene globalmente conto del complesso delle perdite del bacino (infiltrazione nel terreno, ritenzione nelle depressioni superficiali) a causa delle quali la portata al colmo è minore della portata di pioggia. I valori adottati in progetto sono quelli riportati nel precedente paragrafo in merito al metodo dell'invaso.

In particolare, data la limitata estensione delle aree contribuenti e il ridotto sviluppo della rete di drenaggio, il tempo di corrivazione è stato determinato con la formula cinematica sopra definita, con un valore minimo pari a 10', dato che tempi inferiori non sarebbero realisticamente validi.

8.1.2 METODO DELLE SOLE PIOGGE

Il calcolo del volume da assegnare alla vasca di laminazione V , necessario per laminare la portata in arrivo dalla piattaforma è effettuato con il metodo delle sole piogge risolvendo, con riferimento ad un bacino scolante con superficie S , al variare del tempo di pioggia t_p (espresso in ore), l'equazione di bilancio dei volumi, ossia:

$$V = V_{IN} - V_{OUT} \quad \text{Eq. 13}$$

con:

- V_{IN} , volume di pioggia entrante nel sistema di invaso in conseguenza ad un evento pluviometrico di durata t si può esprimere

$$V_{IN} = S \cdot \phi \cdot h(t) = S \cdot \phi \cdot a \cdot t^n \quad \text{Eq. 14}$$

dove ϕ è il coefficiente di afflusso e S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso. Tale ipotesi è valida nell'ipotesi semplificativa che inizi la portata inizi ad uscire dalla vasca contestualmente all'inizio dell'evento piovoso.

Per la pioggia di progetto si farà riferimento ad eventi con durata superiore all'ora.

- V_{OUT} , volume di pioggia in uscita dal sistema nello stesso intervallo di tempo si può esprimere

$$V_{out} = u_{lim} S t_p \quad \text{Eq. 15}$$

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	40 di 45

dove u_{lim} è il coefficiente udometrico e S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso.

Il calcolo dell'andamento temporale dei volumi drenati nel sottosuolo a dispersione (V_{out}), è stato effettuato utilizzando lo schema di moto filtrante secondo la formulazione:

$$Q_u = u_{lim} S \quad \text{Eq. 16}$$

Individuata la durata di pioggia t_{cr} che massimizza il volume invasato V_{max} derivando l'espressione precedente secondo la relazione:

$$t_{cr} = \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad \text{Eq. 17}$$

Il volume da assegnare al sistema di invaso sarà dunque:

$$V_{max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad \text{Eq. 18}$$

8.2 DIMENSIONAMENTO VASCHE DI LAMINAZIONE

Il dimensionamento delle vasche di laminazione è stato effettuato considerando le aree dei piazzali, delle viabilità e le aree afferenti alle canalette ferroviarie. Le portate massime in uscita dalle vasche sono state calcolate prendendo in considerazione una portata di scarico massima nella rete esistente pari a 25 l/s/ha. Per quanto concerne le gallerie stradali, è stato aggiunto al volume di pioggia anche un volume relativo a possibili infiltrazioni per difetto di impermeabilizzazione pari a 7 l/s/km.

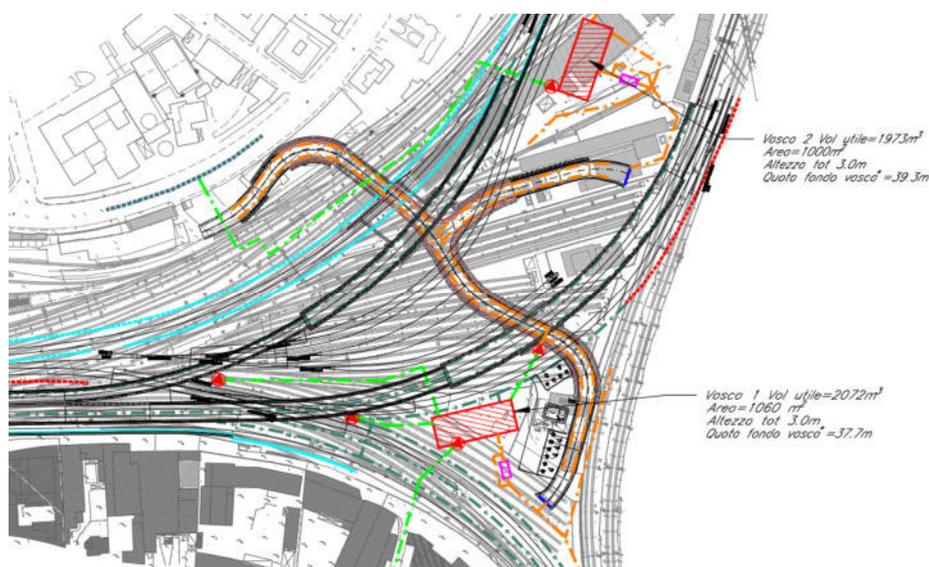


Figura 20 – Posizione vasche di laminazione

L'approccio adottato in accordo alle relazioni analizzate conduce a valutazioni del volume di laminazione W in favore di sicurezza. Di seguito si riporta la tabella di riepilogo dei calcoli effettuati per le due vasche.

Vasca 1											
A tot dren.	A rid.	Qlim.	Qout	W TR25	W TR100	Qlim.gall.	W gall.	W tot.	H utile	H vasca	A vasca
(m2)	(m2)	(l/s/ha)	(m³/s)	(m3)	(m3)	(l/s/km)	(m3)	(m3)	(m)	(m)	(m2)
30031	26837	25	0.075	819.6	1234	7	19	2072	2	2	1036

Tabella 13– Dimensionamento della vasca di laminazione 1

Vasca 2								
A tot dren.	A rid.	Qlim.	Qout	W TR25	W TR100	W tot.	H vasca	A vasca
(m2)	(m2)	(l/s/ha)	(m3/s)	(m3)	(m3)	(m3)	(m)	(m2)
30318.6	29706.7	25	0.076	1425	548	1973	2	987

Tabella 14– Dimensionamento della vasca di laminazione 2

Sulla base dei risultati e tenendo in considerazione lo spazio a disposizione, sono state scelte due vasche di dimensioni pari a 1060 m² per la vasca 1 e 1000 m² per la vasca 2.

Le dimensioni assegnate sono tali da garantire un volume di invaso per una durata di pioggia almeno pari a 10 ore.

8.3 PORTATE IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO

Il progetto prevede la realizzazione di 5 impianti di sollevamento di cui tre a servizio delle gallerie ferroviarie e stradali e due a servizio delle vasche di laminazione.

In particolare, gli impianti denominati S1, S2 e S3 hanno lo scopo di sollevare le acque di drenaggio, afferenti al sottopasso stradale e alle gallerie ferroviarie, nelle vasche di laminazione. Gli impianti S4 e S5 invece inviano le acque raccolte nelle vasche di laminazione al recapito costituito dalla fognatura esistente.

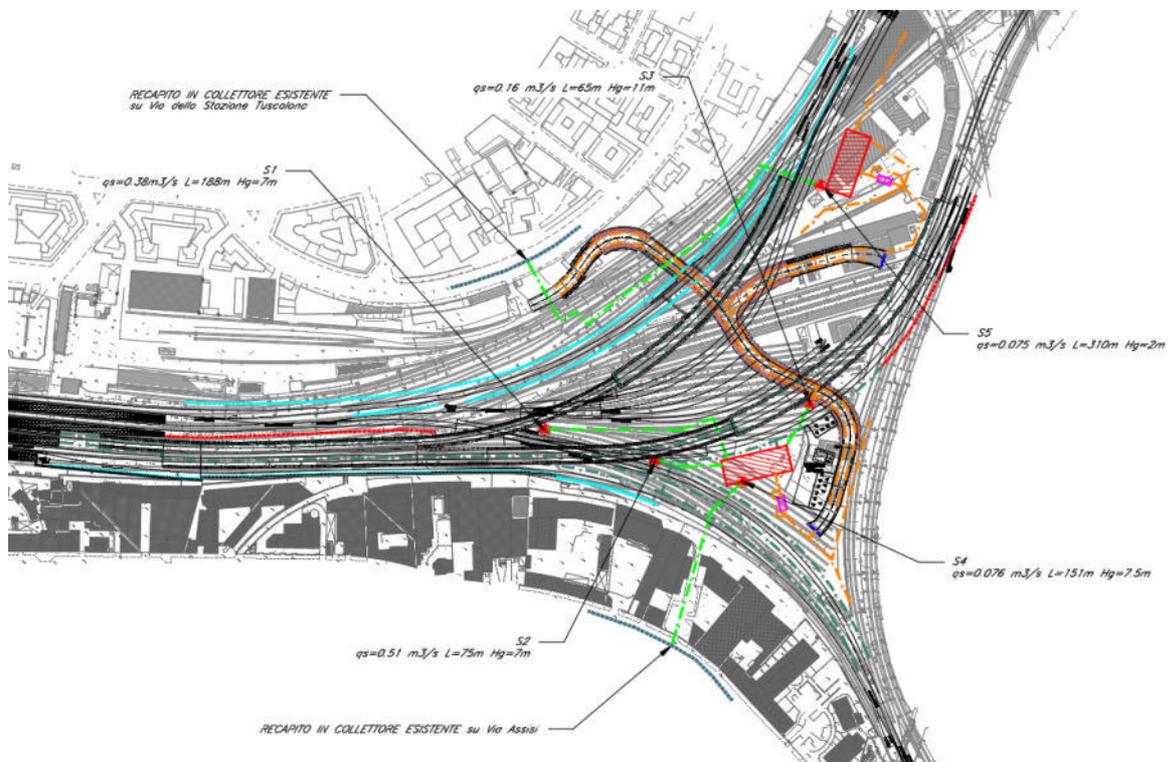


Figura 21 – Posizione impianti di sollevamento

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	43 di 45

Per la stima delle portate in arrivo agli impianti S1, S2 e S3 è stato considerato un tempo di concentrazione pari a 10 minuti. La portata da sollevare agli impianti S4 e S5 è stata invece determinata in funzione della portata limite allo scarico assunta pari a 25 l/s/ha.

Di seguito si riporta per ciascuno impianto la portate di progetto (Q_{out}), la lunghezza della premente (L_p), il dislivello geodetico (H_g) e le dimensioni del vano pompe.

Sollevamento 1								
Caratteristiche Bacini			Calcolo portate		Caratteristiche impianto		Vano Pompe	
BACINO	Area rid. (m ²)	Tc [h]	i (mm/h)	Qout (m ³ /s)	L _p (m)	H _g (m)	Base [m]	H _{UTILE} [m]
S1	5507	0.17	248.51	0.38	169	7	6x6	2

Tabella 13 - Caratteristiche impianto di sollevamento 1

Sollevamento 2								
Caratteristiche Bacini			Calcolo portate		Caratteristiche impianto		Vano Pompe	
BACINO	Area rid. (m ²)	Tc [h]	i (mm/h)	Qout (m ³ /s)	L _p (m)	H _g (m)	Base [m]	H _{UTILE} [m]
S2	7378	0.17	248.51	0.51	51	7	6x6	2

Tabella 14 – Caratteristiche impianto di sollevamento 2

Sollevamento 3								
Caratteristiche Bacini			Calcolo portate		Caratteristiche impianto		Vano Pompe	
BACINO	Area rid. (m ²)	Tc [h]	i (mm/h)	Qout (m ³ /s)	L _p (m)	H _g (m)	Base [m]	H _{UTILE} [m]
S3	2245	0.17	248.51	0.16	38	11	6x6	1

Tabella 15 – Caratteristiche impianto di sollevamento 3

Sollevamento 4					
Caratteristiche impianto				Vano Pompe	
BACINO	Qout (m ³ /s)	L condotta (m)	H geode. (m)	Base [m]	H _{UTILE} [m]
S4	0.075	151	145	3x3	1.5

Tabella 16 – Caratteristiche impianto di sollevamento 4

Sollevamento 5					
Caratteristiche impianto				Vano Pompe	
BACINO	Qout (m ³ /s)	L condotta (m)	H geode. (m)	Base [m]	H _{UTILE} [m]
S5	0.076	320	2	3x3	1.5

Tabella 17 – Caratteristiche impianto di sollevamento 5

8.4 DIMENSIONAMENTO CANALETTE DRENANTI

La soluzione progettuale prevede la realizzazione di canalette drenanti ferroviarie a dispersione, disposte al margine della piattaforma ferroviaria. Dalla relazione geologica emerge come il coefficiente di permeabilità degli strati di suolo più superficiali può essere assunto pari a circa 2×10^{-6} m/s.

Le canalette avranno al disotto un cassonetto drenante rettangolare di altezza variabile a seconda delle necessità e riempito di ghiaia. Il perimetro di filtrazione nel terreno sarà quindi quello appartenente al cassonetto di ghiaia di larghezza b_0 e altezza h .

La portata infiltrata per metro lineare sarà:

$$q = K(b_0 + 2h)$$

Il calcolo del volume di invaso ha seguito l'ipotesi di valutare il volume di pioggia per un tempo di ritorno di 100 anni. Il volume che affluisce nelle canalette in funzione del tempo è dato da

$$V_{affl} = h A$$

con h altezza di pioggia ed A area ridotta drenata.

L'altezza di pioggia [m/h], è data da:

$$h = \frac{a}{1000} t^n$$

Considerando costante la portata infiltrata q , si ha che il volume defluito risulta essere:

$$V_{defl} = q t$$

Il volume all'interno delle canalette in funzione del tempo è quindi dato dalla differenza tra il volume affluito e quello defluito:

$$V_{affl} - V_{defl} = h A - q t = A \frac{a}{1000} t^n - q t = V$$

Per determinare la durata dell'evento meteorico che massimizza il volume da invasare, basta porre a 0 la derivata, fatta in funzione del tempo, della funzione precedente. Si ottiene quindi:

$$A \frac{a n}{1000} t^{n-1} - q = 0$$

Esplicitando la precedente in funzione del tempo si ha:

Relazione idrologica e idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR2E	00	R 78	RI ID0002 001	B	45 di 45

$$t^* = \left(\frac{1000 q}{A a n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad [\text{ore}]$$

Il massimo volume da invasare è dato quindi da:

$$V_{\max} = A \frac{a}{1000} (t^*)^n - q t^* \quad [\text{m}^3]$$

Il volume immagazzinato nella canaletta è dato dal volume utile della sezione rettangolare più il volume del cassonetto considerando un indice dei vuoti pari a 0.4:

$$V_{\text{inv}} = L \cdot B \cdot h \cdot \text{GR} + B \cdot h \cdot n \cdot \text{GR}$$

dove

- L, lunghezza fosso;
- B, larghezza di base;
- h, altezza cassonetto;
- GR, grado di riempimento;
- n, indice dei vuoti.

La verifica è rispettata se il volume invasato è maggiore del volume da invasare.

Il risultato dei calcoli idraulici è rappresentato nella seguente tabella.

Tipo	H (cm)	B (cm)	H cass. (cm)
1	100	120	35
2	100	150	80

Tabella 18 – Caratteristiche canalette drenanti