

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J31H03000180008

S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE

NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA

CHIUSURA ANELLO NORD

TRATTA: VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

Fosso d'Acquatraversa

SCALA:

-

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

N R 4 E 1 2 R 0 9 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 B

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|--|-----------|------------------|------------|------------------|-------------|------------------|----------------------------|
| A | Emissione esecutiva | C. CESALI | Febbraio 2022 | F. CABAS | Febbraio 2022 | T. PAOLETTI | Febbraio 2022 | A. VITTOZZI Agosto 2023 |
| B | Emissione esecutiva per consegna al CSLLPP | C. CESALI | Agosto 2023 | F. CABAS | Agosto 2023 | T. PAOLETTI | Agosto 2023 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili - Servizio delle varianti
Dot. Ing. Antonio VITTOZZI
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 12.0783

File:

n. Elab.:

|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</p> | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|-------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|-------------|---|---------|
| <p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0001 001</td> <td>B</td> <td>2 di 35</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 2 di 35 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 2 di 35 | | | | | | | | |

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA..... | 5 |
| 1.1 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 7 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE..... | 8 |
| 3 | IL BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA | 10 |
| 4 | ANALISI IDROLOGICA..... | 12 |
| 4.1 | ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI | 12 |
| 4.1.1 | <i>V.A.P.I.: REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE DELL'ITALIA CENTRALE</i> | 12 |
| 4.1.2 | <i>REGISTRAZIONI PLUVIOMETRICHE PRESSO LE STAZIONI DI MISURA DI INTERESSE</i> | 25 |
| 4.2 | STIMA DELLE PORTATE AL COLMO E DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI RIFERIMENTO | 30 |
| 5 | BIBLIOGRAFIA | 35 |

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|-----------|
| <i>FIGURA 1 – INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....</i> | <i>5</i> |
| <i>FIGURA 2 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO (LOTTO 1B) SU CARTA TECNICA REGIONALE (CTR, 1:5000).</i> | <i>8</i> |
| <i>FIGURA 3 – SOTTOBACINO DI INTERESSE DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA.....</i> | <i>11</i> |
| <i>FIGURA 4 - VAPI: ZONE OMOGENEE AL I E II LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE.</i> | <i>16</i> |
| <i>FIGURA 5 - VAPI: AREE PLUVIOMETRICHE OMOGENEE (APO).</i> | <i>19</i> |
| <i>FIGURA 6 – SOTTOBACINO DI INTERESSE DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA VS SOTTOZONE OMOGENEE VAPI ITALIA CENTRALE.....</i> | <i>23</i> |
| <i>FIGURA 7 – SOTTOBACINO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA, DA PROCEDURA VAPI ITALIA CENTRALE.....</i> | <i>24</i> |
| <i>FIGURA 8 – FOSSO ACQUATRAVERSA: STAZIONI PLUVIOMETRICHE NELL'AREA DI INTERVENTO.....</i> | <i>26</i> |
| <i>FIGURA 9 – FOSSO D'ACQUATRAVERSA, VALORI DI PORTATA AL COLMO: CONFRONTO CON I DATI DERIVATI DA STUDI DISPONIBILI SUL TERRITORIO.</i> | <i>33</i> |
| <i>FIGURA 10 – FOSSO D'ACQUATRAVERSA: IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO, PER I TEMPI DI RITORNO CONSIDERATI.....</i> | <i>34</i> |

| | | | | | | |
|--|--|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B | FOGLIO 4 di 35 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|-----------|
| <i>TABELLA 1 – SOTTOBACINO DI INTERESSE DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE.....</i> | <i>11</i> |
| <i>TABELLA 2 – VALORI DEI PARAMETRI A(TR), B, M PER LA SOTTOZONA VAPI A10.....</i> | <i>24</i> |
| <i>TABELLA 3 - STAZIONI PLUVIOMETRICHE DI RIFERIMENTO: PERIODO DI OSSERVAZIONE/FUNZIONAMENTO E NUMEROSITÀ CAMPIONARIA.....</i> | <i>25</i> |
| <i>TABELLA 4 - STAZIONI PLUVIOMETRICHE DI RIFERIMENTO: PARAMETRI DELLE CURVE DI PIOGGIA PER TR = 200 ANNI E VALORI DELL'AREA DEL SINGOLO TOPOIETO ALL'INTERNO DEL SOTTOBACINO DI RIFERIMENTO.</i> | <i>28</i> |
| <i>TABELLA 5 - VALORI DEL CURVE NUMBER (CN) PER LE DIFFERENTI COPERTURE DEL SUOLO DEL CLC (ELABORAZIONE ADIS).</i> | <i>32</i> |
| <i>TABELLA 6 – SOTTOBACINO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: VALORI DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA DI PROGETTO, PER VARI TEMPI DI RITORNO.</i> | <i>32</i> |
| <i>TABELLA 7 – SOTTOBACINO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: VALORI DELLA PORTATA AL COLMO DI PROGETTO, PER VARI TEMPI DI RITORNO.</i> | <i>33</i> |
| <i>TABELLA 8 – SOTTOBACINO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: VALORI DELLA PORTATA AL COLMO DI PROGETTO, PER VARI TEMPI DI RITORNO, SECONDO GLI STUDI CONDOTTI DALLA PROVINCIA DI ROMA.</i> | <i>33</i> |

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 5 di 35 |

1 PREMESSA

Il presente studio è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica “Gronda Merci di Roma Cintura Nord”, che prevede la chiusura dell’Anello Ferroviario mediante la connessione della stazione di Valle Aurelia con la linea che da Roma Smistamento conduce a Tiburtina, passando per le fermate/stazioni di Vigna Clara e di Tor di Quinto.

Nello specifico, la presente relazione si riferisce al **LOTTO 1b** della “Gronda Merci di Roma Cintura Nord”, che comprende l’intervento di **nuovo collegamento Vigna Clara - Tor di Quinto con interscambio a Tor di Quinto tra la nuova linea e la linea Roma - Civita Castellana – Viterbo** (Figura 1).

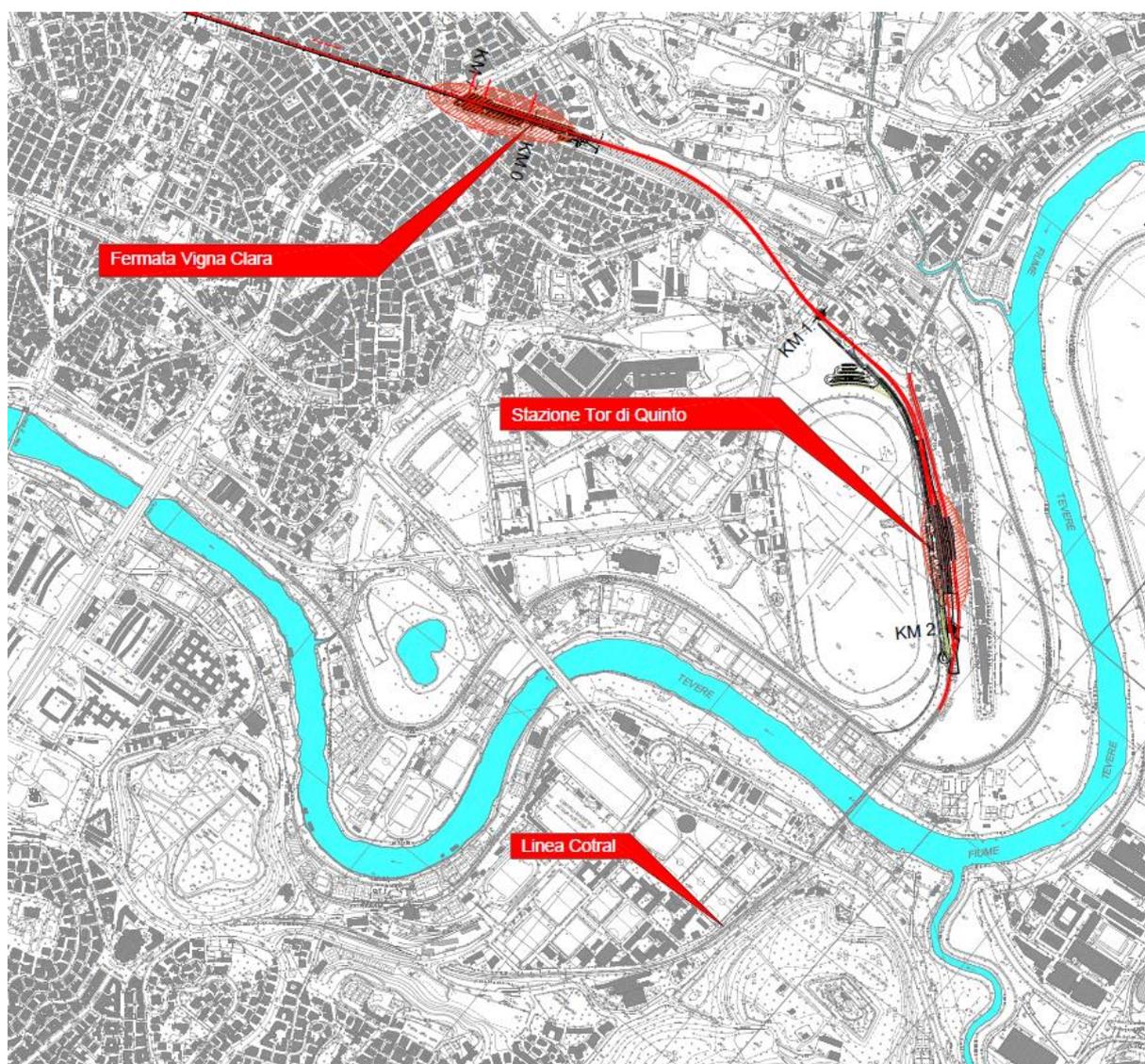


Figura 1 – Inquadramento dell’intervento in progetto.

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|
|  | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B | FOGLIO 6 di 35 |

Nello specifico, sono previste in progetto le seguenti opere:

- Fabbricato tecnologico e cabina TE a Vigna Clara;
- Viadotto Flaminia di lunghezza circa 800 m doppio binario con impalcato a sezione mista acciaio/cls;
- Nuova stazione Tor di Quinto interamente su una struttura scatolare. La livelletta ferroviaria è tale quindi da consentire lo scavalco della linea Roma Nord, che mantiene la sua quota a piano campagna e che trova la sua nuova posizione planimetrica all'interno dello scatolare di sottoattraversamento ferroviario;
- Nuova viabilità della stazione Tor di Quinto;
- Modifiche alla stazione Tor di Quinto della linea Roma Civita Castellana Viterbo.

Nel tratto iniziale del collegamento *Vigna Clara – Tor Quinto*, tra le progressive 0+200 e 0+600 circa, il tracciato ferroviario si sviluppa in affiancamento al **Fosso d'Acquatraversa**, caratterizzato nel tratto in questione, presso località *Due Ponti* (ovvero nella parte bassa di confluenza con il Fiume Tevere), da un'ampia zona di rischio idraulico (secondo i documenti della pianificazione di bacino vigente) determinata sia dal rigurgito delle piene del *Fiume Tevere* sia dalle piene dirette del fosso stesso. La sovrapposizione delle due situazioni costituisce un nodo idraulico di particolare criticità.

Si è reso necessario pertanto uno studio idrologico – idraulico del Fosso d'Acquatraversa finalizzato alla verifica/conferma della “*attuale*” situazione di pericolosità/rischio idraulico nell'area di intervento ovvero alla verifica di compatibilità idraulica del tratto di linea ferroviaria adiacente al corso d'acqua.

Nel dettaglio, le analisi idrologiche sono state effettuate secondo le seguenti fasi:

- raccolta ed elaborazione delle osservazioni/registrazioni pluviometriche disponibili e di studi idrologici-idraulici pregressi;
- definizione dell'altezza totale di precipitazione, con
 - i. valutazione della precipitazione netta, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al deflusso, pari alla precipitazione totale depurata da quella che risulta persa in conseguenza a perdite idrologiche (i.e. immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione)
 - ii. trasformazione afflussi-deflussi per il calcolo delle caratteristiche dell'onda di piena, in particolare del relativo colmo, per vari tempi di ritorno;
- applicazione delle procedure di regionalizzazione delle piogge (VA.P.I.) dell'Italia Centrale (Calenda et al. 2003) e delle curve di possibilità pluviometrica relative alla/e stazione/i di misura ricadente/i nel sottobacino di interesse.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Le analisi sono state sviluppate in accordo alla pianificazione di bacino attualmente in vigore, nello specifico al *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale* (P.G.R.A.A.C., ultimo aggiornamento 2019), nonché alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano Stralcio di Assetto Idrologico del Fiume Tevere (2014), alle Norme tecniche delle costruzioni (NTC2018 e relativa circolare applicativa n.7/2019) e al Manuale di Progettazione Ferroviaria (MdP, 2020).

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito, la normativa nazionale e i regolamenti di riferimento:

- Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877
- *R.D. 27 luglio 1904, n. 523*
- *R.D. 27 luglio 1904, n. 368*
- *R.D. n. 3267/1923*
- *R.D. 17 maggio 1926, n. 1126*
- *R.D. n. 215/1933*
- *Legge n. 183/1989, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"*
- *D.M. del 14 febbraio 1997 "Direttive tecniche per l'individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico"*
- *D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)*
- *Legge n. 365/2000 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile" (legge Soverato)*
- *D.Lgs. n. 49/2010 "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni"*
- *D.Lgs. n. 152/2006 "Norma in materia ambientale"*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrologico (P.A.I.) del Fiume Tevere, Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Norme tecniche di attuazione (aggiornamento 2014)*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (aggiornamento dicembre 2019)*
- *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018*
- *Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019*
- *Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020)*

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 8 di 35 |

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area oggetto di studio riguarda il nuovo collegamento *Vigna Clara - Tor di Quinto (LOTTO 1b)*, che si sviluppa, nel tratto iniziale (tra le progressive 0+200 e 0+600), in adiacenza al *Fosso d'Acquatraversa*. Si precisa che non sono previste opere di attraversamento o interventi sul *Fosso d'Acquatraversa*.

Nella figura seguente, l'inquadramento della tratta ferroviaria in progetto su *Carta Tecnica Regionale*.

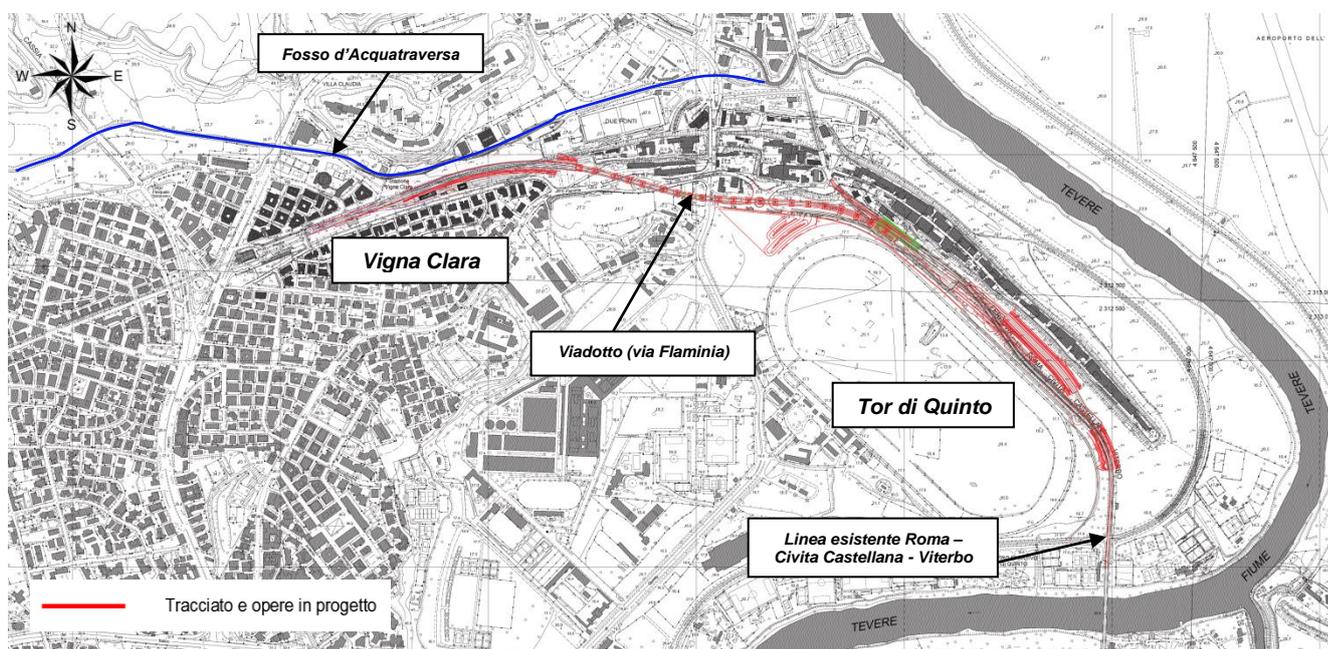


Figura 2 – Inquadramento generale dell'intervento in progetto (LOTTO 1b) su Carta Tecnica Regionale (CTR, 1:5000).

Nello specifico, il tracciato ha inizio nella fermata di *Vigna Clara*. Non sono previsti interventi nell'ambito della fermata esistente. Gli interventi sul "ferro" pertanto iniziano a partire dalla fine dei marciapiedi.

In ambito fermata è previsto l'inserimento di un nuovo fabbricato tecnologico e di una nuova sottostazione elettrica. In uscita dai marciapiedi e per circa 500m il tracciato si mantiene in rilevato al di sopra del fascio dei binari esistenti, di cui è pertanto prevista la demolizione.

Superata la zona di sovrapposizione con il fascio di binari esistente, il tracciato prende quota per superare in viadotto, l'intersezione con via Flaminia Vecchia. In corrispondenza di detta intersezione, si prevede l'inserimento di due pile all'interno delle aiuole esistenti a centro viabilità.

Relativamente alle fasi realizzative, si prevedono la deviazione provvisoria della *Flaminia* ed eventuali parzializzazioni del traffico, mentre in fase definitiva si prevede di riportare la viabilità esattamente alla configurazione attuale. Saranno effettuati alcuni espropri temporanei per consentire la realizzazione delle deviate provvisorie stradali.

| | | | | | | |
|--|--|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|  | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B | FOGLIO 9 di 35 |

Superata l'intersezione con via Flaminia Vecchia, è presente un tratto di circa 100m di rilevato tra muri. In questa zona il corpo del rilevato ferroviario interferisce con una stazione carburanti, che sarà pertanto oggetto di esproprio. Superato tale tratto, la linea torna in viadotto, scavalca via Tor di Quinto, e si raccorda con lo scatolare di ingresso alla stazione di Tor di Quinto. Lungo questo tratto la linea mantiene una distanza tra piano del ferro e piano campagna mediamente pari a 12-13 metri, costeggiando via della Stazione di Tor di Quinto, oggetto di adeguamento.

La stazione di Tor di Quinto si sviluppa, pertanto, interamente su una struttura scatolare, a partire dai deviatori di ingresso fino ai deviatori di uscita. La livelletta ferroviaria è tale quindi da consentire lo scavalco della linea FS *Roma Nord*, che mantiene la sua quota a piano campagna e che trova la sua nuova posizione planimetrica all'interno dello scatolare di sottoattraversamento ferroviario.

In ambito stazione è prevista, oltre ai due binari di corsa, una precedenza promiscua tra binario pari e binario dispari e due marciapiedi di lunghezza pari a 250m, di cui uno laterale e uno a isola, quest'ultimo a servizio del binario di corsa e del binario di precedenza. Si prevede inoltre l'ubicazione in stazione del fabbricato tecnologico.

A livello planimetrico, le strutture della nuova stazione di Tor di Quinto risultano interferenti con la linea esistente *Roma – Civita Castellana – Viterbo* (Linea Cotral). La risoluzione di tale interferenza comporta lo spostamento planimetrico dei binari esistenti della linea ferroviaria *Cotral Roma Nord*.

Durante le fasi di costruzione sarà garantito, a meno di periodi limitati dovuti ad esempio all'allaccio della linea esistente con la tratta deviata, il mantenimento dell'esercizio sulla linea *Roma – Civita Castellana – Viterbo*.

Contestualmente, si prevede il mantenimento in esercizio della fermata Tor di Quinto sulla linea *Roma Nord*, sia essa nella posizione esistente o nella futura posizione di progetto, eventualmente attraverso viabilità di accesso provvisorio e comunque evitando la commistione di flussi tra traffico di cantiere e traffico passeggeri.

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

3 IL BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA

Il collegamento ferroviario in progetto (*Tratta Vigna Clara – Tor di Quinto, LOTTO 1b*) si sviluppa (nella parte iniziale, in uscita dalla Fermata di Vigna Clara, in località *Due Ponti*) in affiancamento al *Fosso d'Acquatrasversa*, ovvero nella sua parte bassa di confluenza prima nel *Fosso della Crescenza* e quindi nel *Fiume Tevere*.

Il fosso dell'Acquatrasversa ha inizio subito a sud dell'abitato di La Giustiniana, a quota di m. 125 s.l.m. e scende a valle per SE; solo nel tratto a valle esso piega per est prima di confluire nel fosso della Crescenza (in destra idraulica) a quota m. 17 s.l.m..

Esso praticamente non riceve alcun affluente sulla sinistra mentre sulla destra i più importanti, da monte a valle, sono: il fosso di M. Arsiccio (confluenza a quota m. 63 s.l.m.), il fosso della Valle dell'Insugherata (confluenza a quota m. 44 s.l.m.), il fosso di Valle della Rimessola (confluenza a quota m. 40 s.l.m.) ed il fosso dei Frati (confluenza a quota m. 30 s.l.m.).

Il sottobacino ha forma allungata da NO a SE e la sua lunghezza è di circa 8 km. La sua larghezza aumenta gradatamente fino a 3 km risalendo dalla foce fino a metà del bacino; diminuisce poi fino ad annullarsi nell'alto bacino. Il limite del sottobacino, procedendo dalla confluenza con il fosso della Crescenza in senso orario, passa per Contrada Tor di Quinto (m. 47 s.l.m.), Forte Trionfale (m. 120 s.l.m.), abitato di Ottavia (m. 145 s.l.m.), abitato di La Giustiniana (m. 150 s.l.m.); segue poi il tracciato della via Cassia dal km 14 al km 8 ed infine, passando per la tenuta Inviolatella, raggiunge il Tevere. Il bacino occupa una regione di basse colline dai dolci pendii, incisa però in genere da fossi profondi e stretti. Il fondo valle del Fosso dell'Acquatrasversa è però abbastanza ampio. Nella parte bassa del bacino ricadono i quartieri periferici nordoccidentali della città di Roma. In prossimità della foce il bacino è attraversato dalla SS. Cassia e dalla SS. Flaminia. La superficie di questo sottobacino è di 16,7 kmq, la sua altitudine media è di m. 83 s.l.m., il suo fattore di forma è 2. La lunghezza d'asta del fosso è di km 8,6 e la sua pendenza media è del 1,2%. Della superficie non edificata del bacino il 20% è coperta da bosco, il 10% è lasciata a pascolo, il rimanente è coltivato a seminativo.

Affiorano in questo bacino terreni di ambiente marino (*Pm*) marnosi e sabbiosi su oltre il 5% dell'area totale; quelli della «serie continentale» di facies salmastra (qm) e limo palustre (qt) del Basso Pleistocene su circa il 30%; le alluvioni recenti (qa) su circa il 10%; i terreni vulcanici, comprendenti il tufo stratificato di Sacrofano (S13), il tufo rosso a scorie nere (Vv4) ed il tufo stratificato de La Storta (Sg1) affiorano invece su oltre il 50% dell'area del bacino.

Le argille pleistoceniche sono prettamente impermeabili; i terreni vulcanici sono invece a permeabilità varia: impermeabile nell'insieme è da considerare il tufo stratificato di Sacrofano (S13), permeabile il tufo rosso a scorie nere (Vv4) e poco permeabile nell'insieme il tufo stratificato de La Storta (Sg1).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 11 di 35 |

Nella figura seguente, si riporta il sottobacino del Fosso d'Acquatraversa con sezione di chiusura ubicata nel tratto di maggiore vicinanza alla linea ferroviaria in progetto (rif. NR4E12R09C4ID0001001).

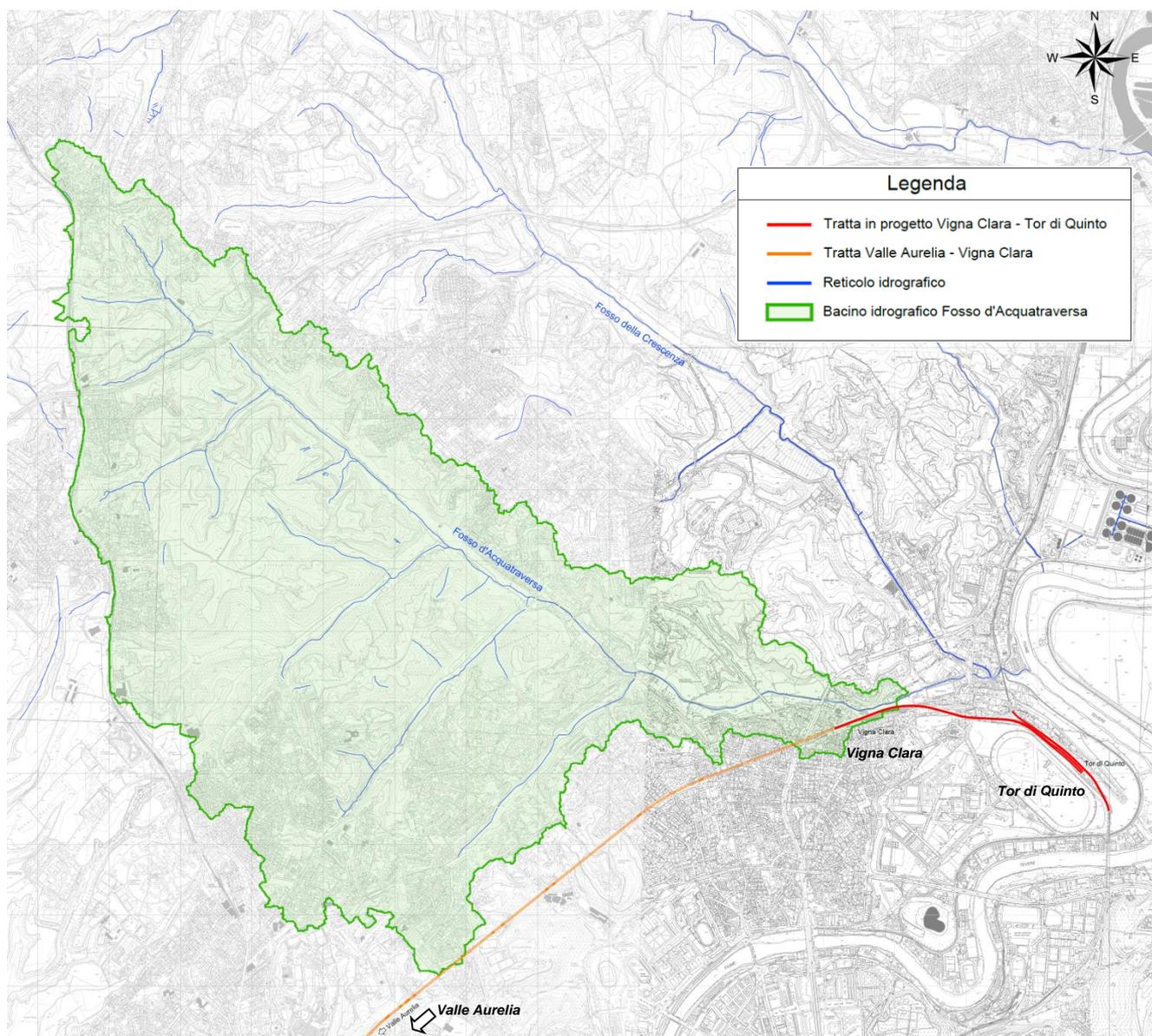


Figura 3 – Sottobacino di interesse del Fosso d'Acquatraversa.

In Tabella 1 sono mostrate invece le relative caratteristiche morfometriche.

| S (km ²) | L (km) | H_{max} (m slm) | H_{min} (m slm) | H_{med} (m slm) | P_{bac} (m/m) | P_{pasta} (m/m) |
|------------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 14.13 | 7.5 | 156.60 | 17.35 | 95.99 | 0.206 | 0.014 |

Tabella 1 – Sottobacino di interesse del Fosso d'Acquatraversa: caratteristiche morfometriche.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

4 ANALISI IDROLOGICA

4.1 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

4.1.1 V.A.P.I.: regionalizzazione delle piogge dell'Italia Centrale

Gli afflussi naturali sono stati determinati, per assegnati tempi di ritorno, tramite l'impiego di piogge estreme regionalizzate nell'ambito del progetto VAPI-CNR dello studio del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) con il modello probabilistico che adotta la distribuzione TCEV (*Two-Component Extreme Value*).

L'adozione di tale metodo di indagine idrologica è stata ritenuta più appropriata per l'area in oggetto, in quanto garantisce risultati già ampiamente testati e quindi ritenuti sufficientemente cautelativi rispetto a quelli desumibili dai metodi tradizionali di elaborazione statistica. Con il modello regionalizzato, in base alla scelta del tempo di ritorno che coincide con la scelta del "rischio idraulico", si ottengono le intensità di pioggia critiche.

Base dati utilizzata

L'area interessata dalla 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, la cui numerosità è indicata nella tabella seguente.

| | | | |
|------------------------|------|---------|------|
| numerosità della serie | < 20 | 20 ÷ 29 | ≥ 30 |
| Numero di stazioni | 206 | 131 | 627 |

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:

| | | |
|------------------------|---------|------|
| numerosità della serie | 10 ÷ 19 | ≥ 20 |
| numero di stazioni | 86 | 223 |

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

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 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 pluviometrografiche, di cui 86 con numerosità compresa tra 10 e 19 anni.

Distribuzione TCEV

La legge di distribuzione probabilistica per la variabile casuale h_d , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria o sub-oraria d , è la *Two Component Extreme Value* (TCEV), secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

Tale distribuzione ha la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (log-normale, Gumbel, Fréchet, ecc.) riescono a rendere conto. La funzione di distribuzione di probabilità della h_d è funzione di 4 parametri: $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$, $\Lambda_{s,d}$ e $\Theta_{s,d}$, che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni ($\Lambda_{b,d}$ e $\Lambda_{s,d}$) e il loro valore medio ($\Theta_{b,d}$ e $\Theta_{s,d}$) con $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$ relativi ad una componente base contenente i valori medi e bassi e $\Lambda_{s,d}$, $\Theta_{s,d}$ relativi ad una componente straordinaria contenente i valori più elevati.

$$P(h_d) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda_{s,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{s,d}}} \right)}$$

Se si pone $\Theta^* = \Theta_{s,d} / \Theta_{b,d}$ e $\Lambda^* = \Lambda_{s,d} / \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*}$, si può considerare la quaterna di parametri Λ^* , Θ^* , $\Lambda_{b,d}$ e $\Theta_{b,d}$. La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale $x=h_d$ (massimo annuale della pioggia di durata t) è espressa come segue:

$$P(h_d) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*} e^{-\frac{h_d}{\Theta^* \Theta_{b,d}}} \right)}$$

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Si può dimostrare che il coefficiente d'asimmetria $\xi(h_d)$ dipende soltanto dai parametri Λ^* e Θ^* , il coefficiente di variazione $\gamma(h_d)$ dipende dai parametri Λ^* , Θ^* e $\Lambda_{b,d}$ e la media $\mu(h_d)$ dipende dai parametri Λ^* , Θ^* , $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$ che si esprime con:

$$\mu(h_d) = \left[\ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \Theta_{b,d}$$

dove posto:

$$\beta = \left[\ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right]$$

si ha:

$$P(h_d) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\beta \frac{h_d}{\mu_{h,d}}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*} e^{-\beta \frac{h_d}{\Theta^* \mu_{h,d}}} \right)}$$

Sostituendo nella precedente espressione il coefficiente di crescita $K_T = h_d / \mu_{h,d}$ si ottiene:

$$P(h_d) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\beta K_T} - \Lambda^* \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*} e^{-\beta \frac{K_T}{\Theta^*}} \right)}$$

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

$$Tr = \frac{1}{1 - P(K_T)}$$

Purtroppo non è esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita con la seguente espressione approssimata, valida per: $0,1 \leq \Lambda^* \leq 0,9$ e $1,1 \leq \Theta^* \leq 10$. Posto:

$$x = \ln\{-\ln[-P(k_T)]\} \quad x_0 = \frac{\Theta^*}{1 - \Theta^*} \ln \Lambda^* \quad A = 0,8288(\Theta^* - 0,4315)^{0,3456}$$

|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|-------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|-------------|---|----------|
| IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0001 001</td> <td>B</td> <td>15 di 35</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 15 di 35 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 15 di 35 | | | | | | | | |

– per $x \leq x_0$:

$$k = \frac{x + Ae^{-B_1(x-x_0)^{C_1}}}{\beta}$$

con

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

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

– per $x \geq x_0$:

$$k = \frac{\Theta^* (x + \ln \Lambda^*) + Ae^{-B^2(x-x_0)^{C_2}}}{\beta}$$

con

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

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

Stima regionale dei parametri con i massimi giornalieri

Con regionalizzazione delle altezze di pioggia $h(d)_k$ nei diversi pluviometri $k=1,2,\dots,n$ s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Si richiede generalmente che i raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici. Sono stati utilizzati tre livelli di regionalizzazione:

- Regioni omogenee rispetto ai parametri Λ^* e Θ^* , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente d'asimmetria $\zeta(h_d)$
- Zone omogenee rispetto ai parametri Λ^* , Θ^* e $\Lambda_{b,d}$, da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione $\gamma(h_d)$
- Sottozone omogenee rispetto ai parametri Λ^* , Θ^* , $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$ dai cui dipende la media $\mu(h_d)$

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Per potere utilizzare le formule che contengono dati relativi alle precipitazioni in termini di altezze o di intensità si è provveduto alla determinazione di tali parametri sulla base dei dati pluviometrici regionali elaborati nel progetto VAPI.

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 figura seguente, 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 propaggini 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.

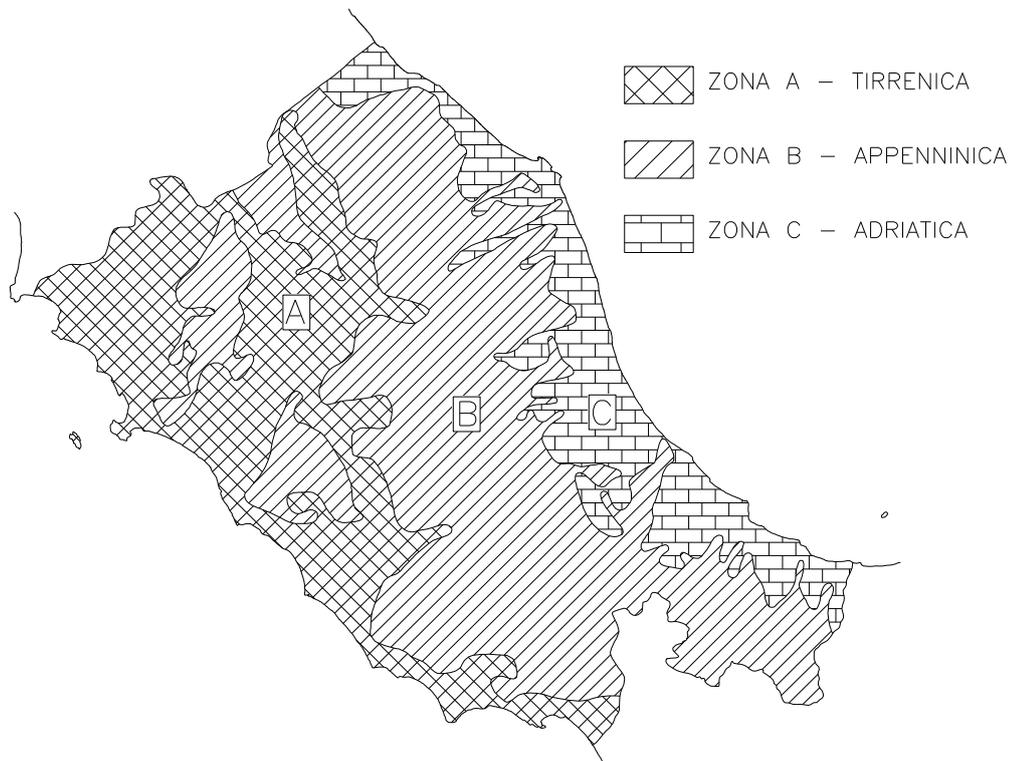


Figura 4 - VAPI: zone omogenee al I e II livello di regionalizzazione.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

I parametri Λ^* e Θ^* , determinati al primo livello di regionalizzazione per le tre zone, sono indicati nella tabella seguente.

| ZONA | Λ^* | Θ^* |
|------|-------------|------------|
| A | 0.174 | 3.490 |
| B | 0.762 | 1.241 |
| C | 0.795 | 2.402 |

Il parametro Λ_b , determinato al secondo livello di regionalizzazione per le tre zone, e la corrispondente funzione β assumono invece i seguenti valori:

| ZONA | Λ_b | β |
|------|-------------|---------|
| A | 29.31 | 4.480 |
| B | 22.02 | 4.359 |
| C | 27.81 | 5.301 |

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa per cui, fissato un valore Tr del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile per cui si riportano di seguito, i valori di K_T ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

| Tr (anni) | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 40 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_T (SZO A) | 0.89 | 1.22 | 1.49 | 1.84 | 1.97 | 2.29 | 2.45 | 2.98 | 3.52 | 3.84 | 4.23 | 4.77 |
| K_T (SZO B) | 0.96 | 1.25 | 1.45 | 1.64 | 1.70 | 1.83 | 1.89 | 2.07 | 2.26 | 2.39 | 2.51 | 2.70 |
| K_T (SZO C) | 0.90 | 1.29 | 1.59 | 1.90 | 2.01 | 2.22 | 2.32 | 2.64 | 2.96 | 3.14 | 3.38 | 3.70 |

Nelle pratiche approssimazioni è possibile fare riferimento alla seguente espressione semplificata:

$$k_T = \left(\frac{\Theta^* \Lambda^*}{\eta} + \frac{\Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\Theta^*}{\eta} \ln T$$

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

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

- (SZO A) $K_T = -0.6086 + 0.779 \text{ Ln}T$
- (SZO B) $K_T = 0.6419 + 0.289 \text{ Ln}T$
- (SZO C) $K_T = 0.5296 + 0.459 \text{ Ln}T$

Per valori del tempo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso delle espressioni semplificate è sempre inferiore al 10%.

Pioggie 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.

Leggi di probabilità pluviometriche

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 $\mu(h_g)$, che prende il nome di pioggia indice, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

$$\mu(h_g) = C Z + D$$

I parametri della precedente espressione 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.

Nello specifico, sono state individuate 78 APO (*Aree Pluviometriche Omogenee*), rappresentate nella figura seguente, in cui i parametri della regressione assumono i valori indicati nella sottostante tabella.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 19 di 35 |

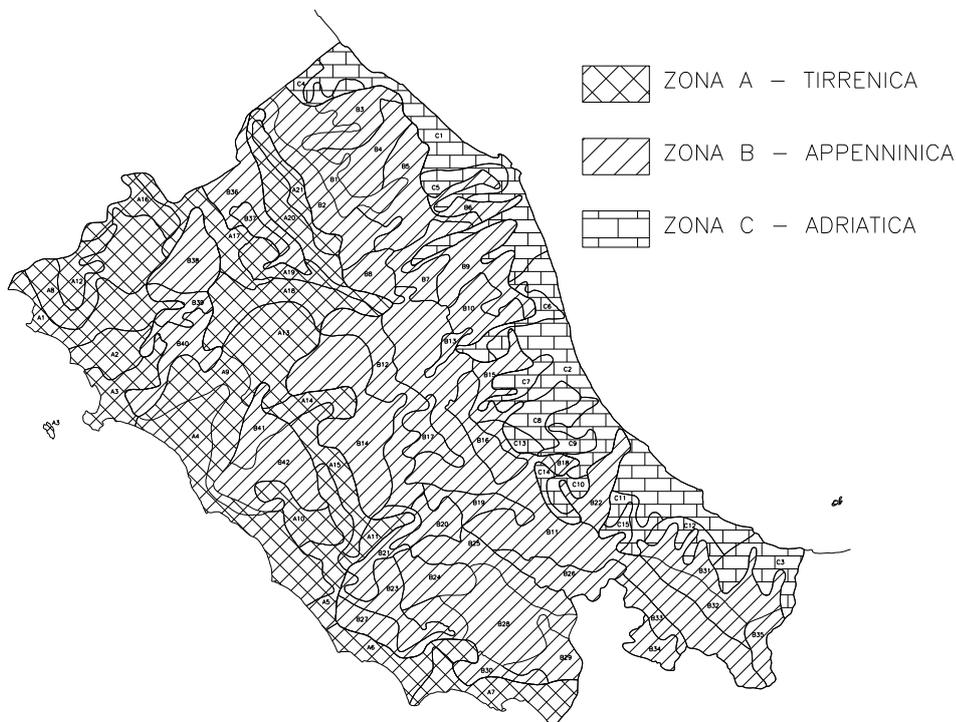


Figura 5 - VAPI: aree pluviometriche omogenee (APO).

| 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 | 63.48 |
| 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 |

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 20 di 35 |

| Sottozona | N | c (mm/m) | d (mm) | Sottozona | N | c (mm/m) | d (mm) |
|-----------|----|----------|--------|-----------|----|----------|--------|
| 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 | 0.04546 | 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 | 0.00153 | 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 | 0.03330 | 32.01 |
| B18 | 3 | 0.00128 | 62.43 | C15 | 4 | 0.00655 | 57.57 |

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

$$i_d(T) = \frac{a(T_r)}{(b+d)^m} (*)$$

dove: b = è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata d , sia dal tempo di ritorno; m = è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno; $a(T_r)$ = è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La stessa espressione può essere messa nella forma:

$$i_d(T) = i_o(T_r) \left(\frac{b}{b+d} \right)^m$$

dove $i_o(T)$ è l'intensità con tempo di ritorno T_r . La pioggia indice è data dalla media di i_d che risulta:

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

$$\mu_{it} = \mu_{io} \left(\frac{b}{b+d} \right)^m$$

dove μ_{io} è la media dell'intensità istantanea. Il coefficiente di crescita da introdurre nella distribuzione TCEV funzione di kT è quindi:

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

L'esponente m e il parametro di deformazione temporale b sono stati assunti indipendenti dal tempo di ritorno Tr , 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. sul tutto il territorio considerato:

- a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} : $\mu_{i24} = \delta \cdot \mu_{id}$ 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:

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

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

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

$$\frac{\mu_{io}(z)}{\bar{\mu}_{io}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}}$$

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

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 22 di 35 |

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

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

 I valori regionali dei parametri b , m e $\bar{\mu}_{io}/\bar{\mu}_{i24}$ che compaiono nelle espressioni precedenti sono riportati nella tabella seguente.

| Sottozona | b(h) | m | $\bar{\mu}_{io}/\bar{\mu}_{i24}$ |
|-----------|--------|--------|----------------------------------|
| A1 | 0.1660 | 0.7810 | 4.890 |
| A2 | 0.1528 | 0.7597 | 4.683 |
| A3 | 0.1454 | 0.7478 | 4.574 |
| A4 | 0.1705 | 0.7881 | 4.962 |
| A5 | 0.1621 | 0.7748 | 4.828 |
| A6 | 0.1137 | 0.6955 | 4.150 |
| A7 | 0.1054 | 0.6816 | 4.054 |
| A8 | 0.1323 | 0.7263 | 4.389 |
| A9 | 0.1502 | 0.7555 | 4.645 |
| A10 | 0.1415 | 0.7415 | 4.518 |
| A11 | 0.1744 | 0.7943 | 5.026 |
| A12 | 0.1251 | 0.7145 | 4.293 |
| A13 | 0.1484 | 0.7526 | 4.618 |
| A14 | 0.1521 | 0.7586 | 4.673 |
| A15 | 0.1326 | 0.7269 | 4.393 |
| A16 | 0.1427 | 0.7434 | 4.535 |
| A17 | 0.1728 | 0.7917 | 5.000 |
| A18 | 0.1498 | 0.7549 | 4.639 |
| A19 | 0.1729 | 0.7919 | 5.002 |
| A20 | 0.1456 | 0.7482 | 4.577 |
| A21 | 0.1437 | 0.7450 | 4.549 |
| B1 | 0.1168 | 0.7006 | 4.188 |
| B2 | 0.1603 | 0.7718 | 4.799 |
| B3 | 0.1252 | 0.7146 | 4.294 |
| B4 | 0.1015 | 0.6748 | 4.010 |
| B5 | 0.1302 | 0.7230 | 4.361 |
| B6 | 0.1354 | 0.7314 | 4.431 |
| B7 | 0.1275 | 0.7185 | 4.325 |
| B8 | 0.1768 | 0.7981 | 5.066 |
| B19 | 0.1135 | 0.6951 | 4.148 |
| B20 | 0.1170 | 0.7010 | 4.190 |
| B21 | 0.1585 | 0.7690 | 4.772 |
| B22 | 0.1101 | 0.6895 | 4.108 |
| B23 | 0.1398 | 0.7387 | 4.494 |
| B24 | 0.1040 | 0.6792 | 4.038 |
| B25 | 0.0986 | 0.6700 | 3.980 |
| B26 | 0.0908 | 0.6565 | 3.902 |
| B27 | 0.1366 | 0.7335 | 4.449 |
| B28 | 0.1168 | 0.7007 | 4.188 |
| B29 | 0.0895 | 0.6542 | 3.889 |
| B30 | 0.1222 | 0.7097 | 4.256 |
| B31 | 0.0902 | 0.6555 | 3.896 |
| B32 | 0.1071 | 0.6844 | 4.073 |
| B33 | 0.0806 | 0.6389 | 3.813 |
| B34 | 0.0940 | 0.6620 | 3.933 |
| B35 | 0.0977 | 0.6684 | 3.971 |
| B36 | 0.1434 | 0.7446 | 4.545 |
| B37 | 0.1141 | 0.6962 | 4.156 |
| B38 | 0.1670 | 0.7826 | 4.906 |
| B39 | 0.0971 | 0.6674 | 3.965 |
| B40 | 0.1136 | 0.6953 | 4.149 |
| B41 | 0.1673 | 0.7830 | 4.911 |
| B42 | 0.1279 | 0.7190 | 4.329 |
| C1 | 0.1408 | 0.7403 | 4.508 |
| C2 | 0.1107 | 0.6905 | 4.115 |
| C3 | 0.1156 | 0.6986 | 4.173 |
| C4 | 0.1123 | 0.6932 | 4.134 |
| C5 | 0.1281 | 0.7195 | 4.333 |

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

| Sottozona | b(h) | m | $\bar{\mu}_{io} / \bar{\mu}_{i24}$ | Sottozona | b(h) | m | $\bar{\mu}_{io} / \bar{\mu}_{i24}$ |
|-----------|--------|--------|------------------------------------|-----------|--------|--------|------------------------------------|
| 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 |

Il sottobacino del *Fosso d'Acquatraversa* in esame ricade all'interno della *sottozona VA.P.I. A10*, come mostrato nella figura seguente.



Figura 6 – Sottobacino di interesse del Fosso d'Acquatraversa vs sottozone omogenee VAPI Italia Centrale.

Ai fini della determinazione dell'altezza/intensità di pioggia di progetto (tramite l'equazione (*) sopra introdotta) e quindi della valutazione delle portate al colmo del *Fosso d'Acquatraversa*, si riportano nella tabella seguente i valori dei parametri $a(T_r)$, b , m per la sottozona di interesse A10 (la quota media di riferimento è pari a 96 m s.l.m.).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 24 di 35 |

In particolare, sono considerati i tempi di ritorno Tr di **50, 200 e 500 anni**, in accordo ai regolamenti e alle normative nazionali (NTC 2018), nonché alla pianificazione di bacino (P.G.R.A.) vigente ed in particolare alla definizione e classificazione delle aree di pericolosità idraulica (per maggiori dettagli, si rimanda comunque alla relazione idraulica annessa, rif. NR4E12R09RIID0002001).

| SZO | $a (Tr50)$ | $a (Tr200)$ | $a (Tr500)$ | b | m |
|-----|------------|-------------|-------------|---------|--------|
| A10 | 92.04 | 132.07 | 158.87 | 0.14152 | 0.7415 |

Tabella 2 – Valori dei parametri $a(Tr)$, b , m per la sottozona VAPI A10.

Nella figura seguente, sono mostrate le corrispondenti curve di possibilità pluviometrica (CPP).

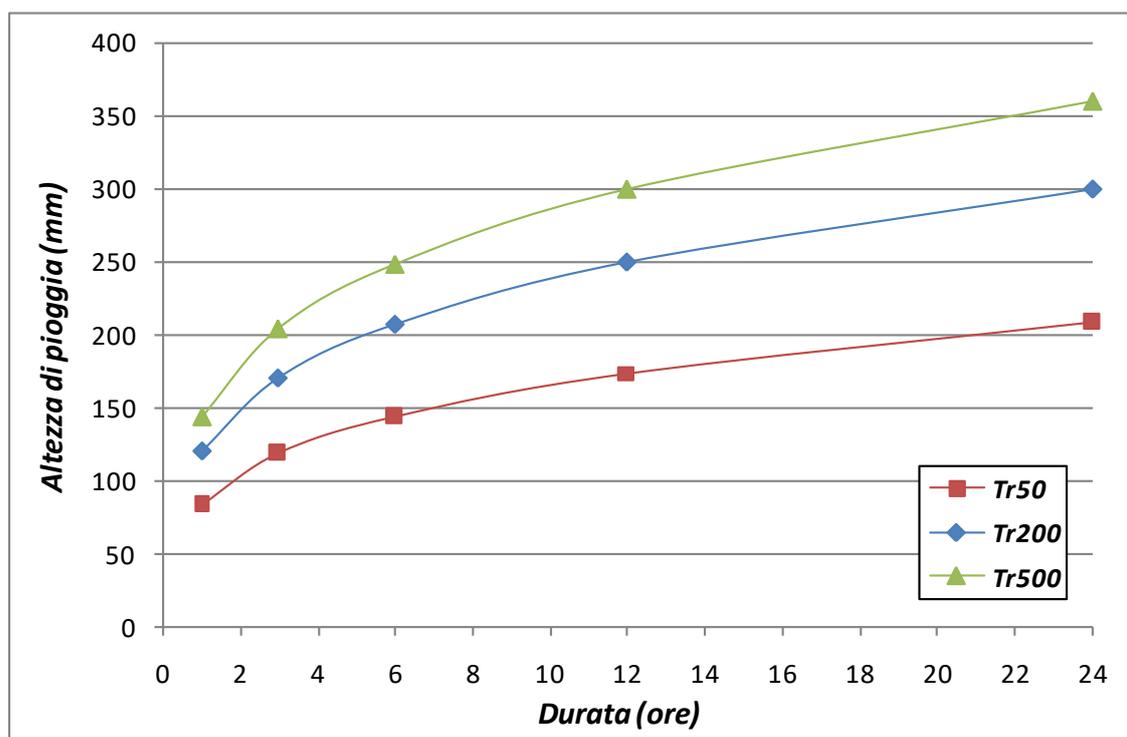


Figura 7 – Sottobacino del Fosso d'Acquatraversa: curve di possibilità pluviometrica, da procedura VAPI Italia Centrale.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

4.1.2 Registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura di interesse

Sono state inoltre raccolte le registrazioni pluviometriche (fonte: Annali idrologici) delle stazioni di misura elencate nella tabella sottostante, di riferimento per l'area di intervento.

In particolare, per il bacino del Fosso Acquatraversa sono state prese in considerazione 6 stazioni pluviometriche e sono stati recuperati tutti i dati di pioggia registrati, disponibili fino all'anno 2021.

| Stazione pluviometrica | Periodo osservazioni | Numerosità campione |
|------------------------|----------------------|---------------------|
| Roma Flaminio (ACEA) | 1994-2021 | 12 |
| Roma Flaminio | 1936-2021 | 41 |
| Roma Monte Mario | 1964-2021 | 21 |
| Monte Mario (ACEA) | 1995-2021 | 11 |
| Roma Nord (ACEA) | 1995-2021 | 15 |
| Roma Acqua Acetosa | 1994-2021 | 15 |

Tabella 3 - Stazioni pluviometriche di riferimento: periodo di osservazione/funzionamento e numerosità campionaria.

I dati pluviometrici sono stati quindi elaborati statisticamente ricorrendo al metodo di Gumbel, il quale prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti. La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta y :

$$y = \alpha(x - u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione. Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di Weibull:

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

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 26 di 35 |

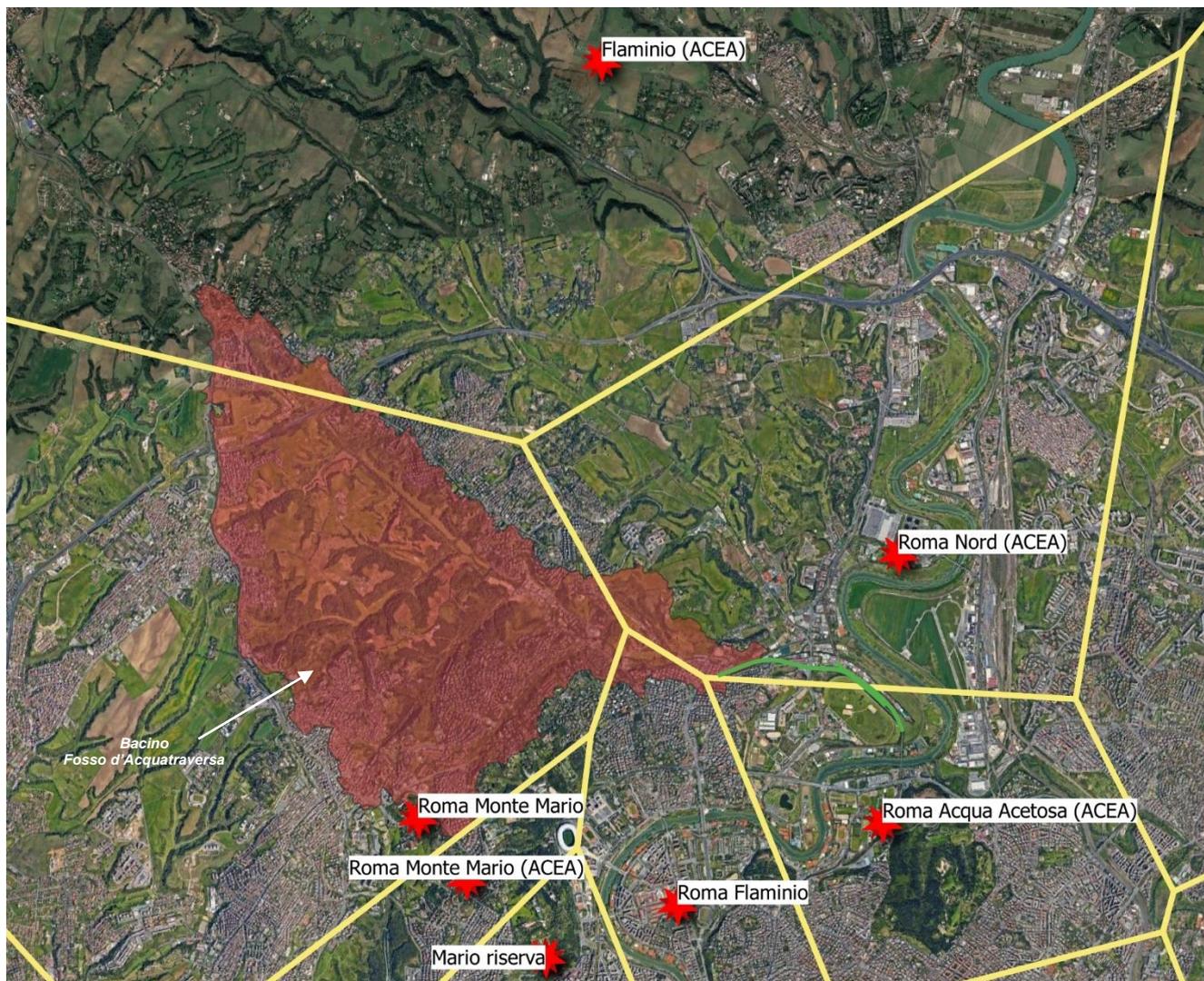


Figura 8 – Fosso Acquatraversa: stazioni pluviometriche nell'area di intervento.

Al denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si fonda sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad e \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[-\ln \left(\frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende solamente da h con la relazione lineare:

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

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno, T_r , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

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

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di h in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata. A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1}$$

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

L'altezza di pioggia (ragguagliata all'area del bacino) può essere valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoieti). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoieta è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono. Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoieti che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoieta che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoieta/poligono di Thiessen; N , il numero dei topoieti; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoieta; S , la superficie del bacino. Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come $h = V_p/S$.

Nella tabella seguente sono riportati i valori a e n (per durate superiori all'ora) relativi ad ogni stazione pluviometrica, per il tempo di ritorno di 200 anni, unitamente ai valori dell'area del singolo topoieta ricadente all'interno del sottobacino di riferimento.

| Stazione pluviometrica | a_{200} | n_{200} | S (kmq) |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Roma Flaminio (ACEA) | 79.0 | 0.102 | 0.780 |
| Roma Flaminio | 67.6 | 0.271 | 0.330 |
| Roma Monte Mario | 82.1 | 0.446 | 12.17 |
| Monte Mario (ACEA) | 76.8 | 0.296 | 0.003 |
| Roma Nord (ACEA) | 116.6 | 0.104 | 0.810 |
| Roma Acqua Acetosa | 121.6 | 0.078 | 0.030 |

Tabella 4 - Stazioni pluviometriche di riferimento: parametri delle curve di pioggia per $Tr = 200$ anni e valori dell'area del singolo topoieta all'interno del sottobacino di riferimento.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Con riferimento al tempo di corrivazione del bacino in esame, come di seguito calcolato ($t_c = 3.44$ h), nella tabella seguente si riporta quindi il confronto tra l'altezza di pioggia di progetto (per una durata pari a t_c e $Tr = 200$ anni) calcolata seconda la procedura VAPI e quella derivante dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate tramite l'elaborazione statistica (secondo Gumbel) delle registrazioni pluviometriche disponibili.

| Gumbel | |
|----------------------------|---------------|
| Tc (ore) - progetto | 3.44 |
| h200 (mm) | 137.85 |
| i200 (mm) | 40.1 |

| VAPI | |
|----------------------------|---------------|
| a | 132.07 |
| b | 0.14152 |
| m | 0.74149 |
| Tc (ore) - progetto | 3.44 |
| i200 (mm) | 51.31 |
| h200 (mm) | 176.37 |

In particolare, nel caso specifico, ai fini della determinazione dell'intensità di pioggia di progetto, la metodologia VAPI risulta essere più cautelativa. Pertanto, nel prosieguo delle analisi si farà riferimento a tale metodologia.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

4.2 STIMA DELLE PORTATE AL COLMO E DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle portate al colmo di progetto e degli idrogrammi di piena di riferimento, da applicare come condizione al contorno nel modello numerico bidimensionale sviluppato (cfr. NR4E12R09RIID0002001), è stato effettuato applicando il metodo di trasformazione afflussi-deflussi proposto da *Nash*.

Il modello di *Nash* descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso. La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo ad una astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad t_p = (\alpha - 1)k$$

Pertanto, ai fini della determinazione della portata al colmo e del relativo idrogramma unitario adimensionale, l'applicazione del modello di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo.

Per la stima di questi parametri è possibile procedere con diversi metodi, sfruttando i numerosi modelli geomorfologici disponibili in letteratura (Rodriguez et al. 1979, Rosso 1984), che sfruttano le caratteristiche del reticolo idrografico opportunamente analizzato secondo varie regole di classificazione (Strahler 1952), o più semplicemente ricorrendo alle espressioni che li correlano al più noto parametro idrologico ovvero il tempo di corrivazione del bacino.

Nella maggior parte dei casi, il parametro di forma n risulta compreso tra 2 e 3 (nel caso specifico è stato assunto $n = 3$), mentre il valore del parametro di scala può essere valutato come $k = 0.5 \cdot \tau_c / (n-1)$.

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

Inoltre, si è assunto quale pioggia di progetto uno ietogramma di tipo Chicago con durata pari al tempo di corrivazione; la depurazione delle piogge lorde è avvenuta con il metodo CN-SCS.

Nello specifico, la determinazione del tempo di corrivazione può essere effettuata mediante l'applicazione di alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, in ragione dell'estensione del sottobacino del *Fosso d'Acquatraversa*, possono essere applicate le seguenti formulazioni:

- *Ventura*

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

- *Pasini*

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

- *Pezzoli*

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

- *Puglisi*

$$\tau_c = 6 L^{2/3} (H_{\max} - H_{\min})^{-1/3}$$

dove i_m è la pendenza media dell'asta principale; A , la superficie del bacino; L , la lunghezza dell'asta principale; H_{\max} e H_{\min} , le quote massima e minima del bacino. Il tempo di corrivazione in tal caso è stato valutato come il minimo valore ottenuto dall'applicazione delle formulazioni sopra descritte, da cui (per il sottobacino in esame) $\tau_c = 3.44$ ore (formula di Pezzoli).

Ai fini della depurazione delle piogge lorde, per la valutazione del Curve Number (CN) si è fatto riferimento alla copertura del suolo, riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 4° livello (ISPRA, 2018), che caratterizza il sottobacino in esame. In particolare, ad ogni codice del CLC relativo ad una specifica copertura del suolo è stato assegnato il relativo CN, per assegnata categoria di suolo (A, B, C, D), dedotto da tabelle disponibili in letteratura, di seguito riportate.

Per il sottobacino del Fosso d'Acquatraversa in esame, in ragione dei terreni/depositi in esso affioranti è stata assunta una categoria del suolo C e una classe di umidità media (II). Per tali caratteristiche, si ottiene un valore medio di CN pari a 81. La pioggia efficace è quindi valutata come $P_e = (P - 0.2 \cdot S) / (P + 0.8 \cdot S)$ con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un dato tempo di ritorno Tr e una durata τ_c ; $S = 254 \cdot (100/CN - 1)$.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 32 di 35 |

| Codice Uso del Suolo (UDS) | UDS | A | B | C | D | Codice Uso del Suolo (UDS) | UDS | A | B | C | D |
|--|------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| AREE PORTUALI | 123 | 98 | 98 | 98 | 98 | PRATI ARTIFICIALI. COLTURE | | | | | |
| AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI | 124 | 92 | 93 | 94 | 95 | FORAGGERE OVE SI PUO RICONOSCERE | | | | | |
| AREE ESTRATTIVE | 131 | 89 | 92 | 94 | 95 | UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I | | | | | |
| DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI | 132 | 90 | 92 | 94 | 95 | SEMINATIVI E UNA CERTA | | | | | |
| CANTIERI | 133 | 90 | 92 | 94 | 95 | PRODUTTIVITA, SONO SEMPRE | | | | | |
| AREE VERDI URBANE | 141 | 65 | 74 | 81 | 84 | POTENZIALMENTE RICONVERTITI A | | | | | |
| CIMITERI | 143 | 57 | 77 | 85 | 89 | SEMINATIVO, POSSONO ESSERE | | | | | |
| VIGNETI | 221 | 72 | 81 | 88 | 91 | RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI | 2112 | 67 | | 81 | 89 |
| FRUTTETI E FRUTTI MINORI | 222 | 67 | 78 | 85 | 89 | SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE | | | | | |
| OLIVETI | 223 | 72 | 81 | 88 | 91 | ORTICOLE A PIENO CAMPO | 2121 | 66 | 77 | 85 | 89 |
| ARBORICOLTURA CON ESSENZE | | | | | | RISAIE | 2122 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| FORESTALI | 224 | 67 | 78 | 85 | 89 | VIVAI | 2123 | 66 | 77 | 85 | 89 |
| PRATI STABILI | 231 | 67 | 71 | 81 | 89 | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE | 2124 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A | | | | | | ALL'OLIVO | 2411 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| COLTURE PERMANENTI | 241 | 59 | 74 | 82 | 86 | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL | | | | | |
| SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI | | | | | | VIGNETO | 2412 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| COMPLESSI | 242 | 63 | 73 | 82 | 88 | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD | | | | | |
| AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA | | | | | | ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI | | | | | |
| COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI | | | | | | E SEMINATIVI ARBORATI CON | | | | | |
| SPAZI NATURALI IMPORTANTI | 243 | 62 | 71 | 78 | 81 | COPIERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL | | | | | |
| AREE AGROFORESTALI | 244 | 45 | 66 | 77 | 83 | 25%) | 2413 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGGLIE | 313 | 39 | 51 | 63 | 70 | BOSCO DI LATIFOGGLIE | 3111 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE A PASCOLO NATURALE | 321 | 67 | 71 | 81 | 89 | ARBORICOLTURA CON ESSENZE | | | | | |
| SPIAGGE DUNE E SABBIE | 331 | 56 | 73 | 82 | 86 | FORESTALI (LATIFOGGLIE) | 3112 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| PARETI ROCCIOSE E FALESIE | 332 | 98 | 98 | 98 | 98 | BOSCHI DI CONIFERE | 3121 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE CON VEGETAZIONE RADA | 333 | 70 | 75 | 84 | 90 | CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO | 3122 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| PALUDI INTERNE | 411 | 100 | 100 | 100 | 100 | FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE | | | | | |
| PALUDI SALMASTRE | 421 | 100 | 100 | 100 | 100 | STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI | | | | | |
| SALINE | 422 | 100 | 100 | 100 | 100 | CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE | | | | | |
| ZONE INTERTIDALI | 423 | 98 | 98 | 98 | 98 | (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI | | | | | |
| LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI | 521 | 100 | 100 | 100 | 100 | ECC.) | 3221 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| MARI | 523 | 100 | 100 | 100 | 100 | FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE | 3222 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E | | | | | | MACCHIA MEDITERRANEA | 3231 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| DENSO | 1111 | 89 | 92 | 94 | 96 | GARIGA | 3232 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| TESSUTO RESIDENZIALE RADO | 1112 | 78 | 80 | 85 | 87 | AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE | 3241 | 45 | 55 | 68 | 75 |
| TESSUTO RESIDENZIALE RADO E | | | | | | AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE | 3242 | 45 | 55 | 68 | 75 |
| NUCLEIFORME A CARATTERE | | | | | | SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 3311 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| RESIDENZIALE E SUBURBANO | 1121 | 74 | 75 | 78 | 80 | AREE DUNALI NON COPERTE DA | | | | | |
| TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E | | | | | | VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE | | | | | |
| FABBRICATI RURALI A CARATTERE | 1122 | 65 | 67 | 70 | 72 | A 25M | 3312 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE | | | | | | AREE DUNALI CON COPERTURA | | | | | |
| INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E | | | | | | VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A | | | | | |
| COMM. E SPAZI ANNESSI | 1211 | 89 | 92 | 94 | 95 | 25 M | 3313 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI | | | | | | LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI | | | | | |
| SERVIZI | 1212 | 89 | 92 | 94 | 95 | AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 3315 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI | | | | | | FIUMI, TORRENTI E FOSSI | 5111 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE | | | | | | CANALI E IDROVIE | 5112 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DI PARCHEGGIO ECC.) | 1221 | 98 | 98 | 98 | 98 | BACINI NATURALI | 5121 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE | | | | | | BACINI ARTIFICIALI | 5122 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, | | | | | | LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A | | | | | |
| SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.) | 1222 | 96 | 96 | 96 | 96 | PRODUZIONE ITTICA NATURALE | | | | | |
| GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO | | | | | | ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E | | | | | |
| E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E | | | | | | STAGNI COSTIERI | | | | | |
| SIMILI) | 1223 | 92 | 93 | 94 | 95 | ESTUARI E DELTA | 5213 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI | | | | | | AREE MARINE A PROD. ITTICA | | | | | |
| DISTRIBUZIONE | | | | | | NATURALE | 5231 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE) | 1224 | 92 | 93 | 94 | 95 | ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO | 5232 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DISCARICHE | 1321 | 90 | 92 | 94 | 95 | PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTI ECC. | | | | | |
| DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, | | | | | | ANCHE IN FORMAZIONI MISTE | 31121 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| CIMITERI DI AUTOVEICOLI | 1322 | 90 | 92 | 94 | 95 | SUGHERETE | 31122 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE RICREATIVE E SPORTIVE | 1421 | 70 | 78 | 83 | 88 | CASTAGNETI DA FRUTTO | 31123 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE ARCHEOLOGICHE | 1422 | 49 | 69 | 79 | 84 | ALTRO | 31124 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE | 2111 | 58 | 72 | 81 | 85 | | | | | | |

Tabella 5 - Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC (Elaborazione ADIS).

Nella tabella seguente, si riportano i valori dell'altezza di pioggia di progetto per il sottobacino in esame, per i vari tempi di ritorno considerati e per una durata pari al tempo di corrvazione del sottobacino ($\tau_c = 3.44$ ore), valutati come anzidetto mediante l'applicazione della procedura VAPI dell'Italia Centrale.

| $h_{\tau_c, Tr = 50 \text{ anni}} \text{ (mm)}$ | $h_{\tau_c, Tr = 200 \text{ anni}} \text{ (mm)}$ | $h_{\tau_c, Tr = 500 \text{ anni}} \text{ (mm)}$ |
|---|--|--|
| 122.9 | 176.4 | 212.2 |

Tabella 6 – Sottobacino del Fosso d'Acquatraversa: valori dell'altezza di pioggia di progetto, per vari tempi di ritorno.

Nella tabella seguente, si riportano invece i valori di portata al colmo, per i vari tempi di ritorno considerati, dedotti applicando il metodo di Nash implementato nel software URBIS.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| | IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B |

| $Q_{Tr=50 \text{ anni}} (mc/s)$ | $Q_{Tr=200 \text{ anni}} (mc/s)$ | $Q_{Tr=500 \text{ anni}} (mc/s)$ |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 81.80 | 136.50 | 174.30 |

Tabella 7 – Sottobacino del Fosso d'Acquatraversa: valori della portata al colmo di progetto, per vari tempi di ritorno.

I valori di portata al colmo così determinati sono coerenti con quelli riportati in alcuni studi condotti dalla Provincia di Roma. Nello specifico, in tali studi, per il Fosso d'Acquatraversa con bacino “chiuso” alla confluenza nel Fosso della Crescenza sono indicati i seguenti valori di portata al colmo.

| $Q_{Tr=20 \text{ anni}} (mc/s)$ | $Q_{Tr=50 \text{ anni}} (mc/s)$ | $Q_{Tr=100 \text{ anni}} (mc/s)$ |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 71.0 | 85.0 | 95.0 |

Tabella 8 – Sottobacino del Fosso d'Acquatraversa: valori della portata al colmo di progetto, per vari tempi di ritorno, secondo gli studi condotti dalla Provincia di Roma.

Il confronto mostrato in figura evidenzia come i valori di portata al colmo stimati nel presente studio siano più cautelativi di quelli derivati/estratti dagli studi condotti dalla Provincia di Roma, soprattutto per tempi di ritorno elevati.

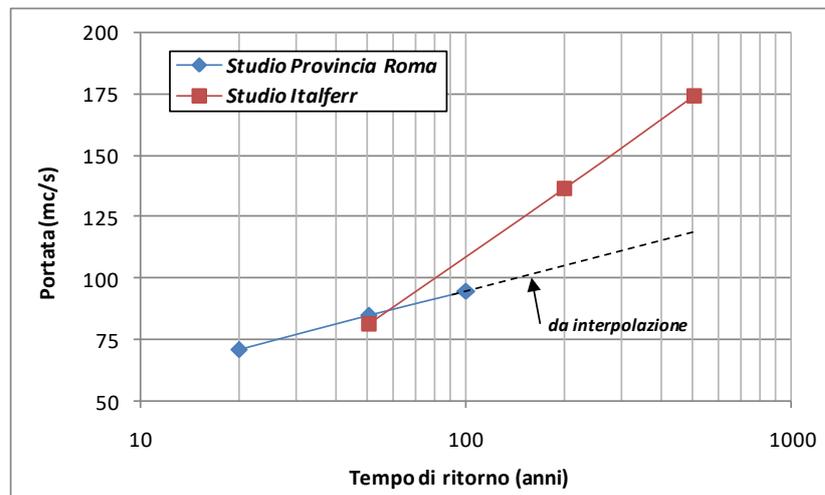


Figura 9 – Fosso d'Acquatraversa, valori di portata al colmo: confronto con i dati derivati da studi disponibili sul territorio.

Nella figura seguente sono mostrati gli idrogrammi di piena di riferimento, corrispondenti ai valori di portata al colmo riportati in Tabella 7.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR4E | 12 | R 09 RI | ID 0001 001 | B | 34 di 35 |

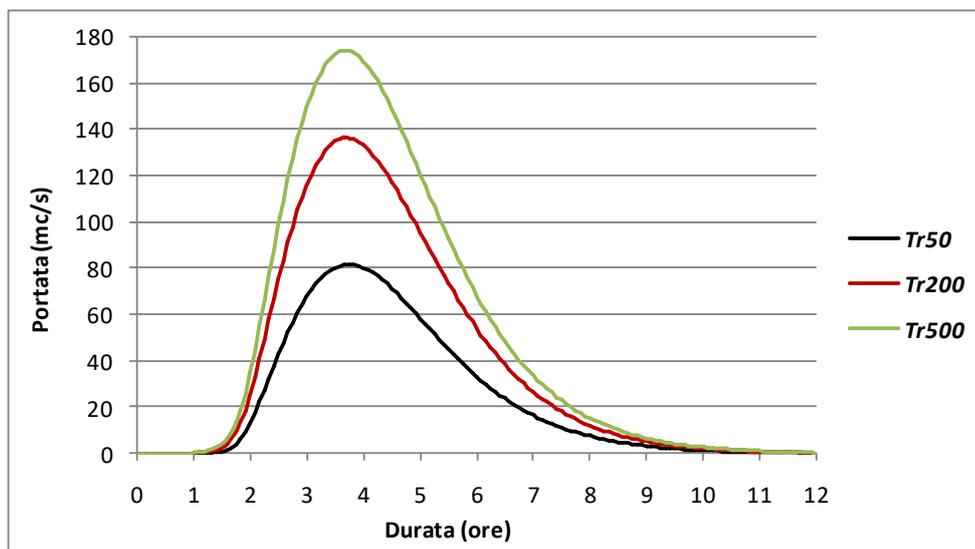


Figura 10 – Fosso d'Acquatraversa: idrogrammi di piena di progetto, per i tempi di ritorno considerati.

Tali idrogrammi sono stati quindi applicati nel modello numerico bidimensionale sviluppato ai fini della determinazione delle aree potenzialmente inondabili per esondazione delle piene di riferimento del *Fosso d'Acquatraversa* nell'area di intervento, come meglio descritto nella relazione idraulica annessa, rif. NR4E12R09RIID0002001.

| | | | | | | |
|--|--|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------|
|  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small> | NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO | | | | | |
| IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica | COMMESSA NR4E | LOTTO 12 | CODIFICA R 09 RI | DOCUMENTO ID 0001 001 | REV. B | FOGLIO 35 di 35 |

5 BIBLIOGRAFIA

- Ghetti A., “*Idraulica*”, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Maione U., “*Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*”, La Goliardica Pavese, 1977
- Marani M., “*Processi e modelli dell'Idrometeorologia*”, Dispense, 2005.
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (ultimo aggiornamento dicembre 2019).
- Progetto di piano di bacino del fiume Tevere, 5° stralcio funzionale, per il tratto metropolitano da Castel Giubileo alla foce (PS5) – *Relazione generale*, 2014.
- Rodriguez-Iturbe I., Gonzalez-Sanabria M, Bras. R, *A geomorphoclimatic theory on the Instantaneous Unit Hydrograph*, Water Resour. Res. 18(4), pp 877-886, 1982.
- Rosso, R, *Nash model relation to Horton order ratios*, Water Resour. Res. 20(7), pp. 914-920, 1984
- Strahler, A. N., *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology*, Geological Society of America Bulletin, 63 (11): 1117–1142, 1952.
- Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.