

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.  
DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE (DOIT)

PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA

**ETS S.r.l.**

Via Benedetto Croce,68  
00142 Roma  
email: info@etsingegneria.it

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE DI GENOVA  
S.O. INGEGNERIA

### PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornamento della Progettazione Esecutiva della galleria artificiale di Mele  
(compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino),  
comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme

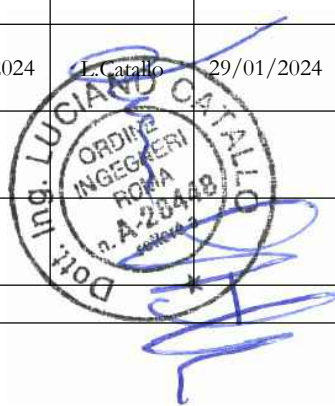
### RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA del versante

SCALA :

FOGLIO 1 di 34

| PROGETTO/ANNO | SOTTOPR. | LIVELLO | NOME DOC. | PROGR.OP. | FASE FUNZ. | NUMERAZ. |
|---------------|----------|---------|-----------|-----------|------------|----------|
| 3 5 3 7 2 3   | 0 0 0    | P E     | T S P N   | 0 1       | 0 0        | 0 4 0 5  |

| Rev. | Descrizione | Progettista                    | Data       | Verificato | Data       | Approvato | Data       | Autorizzato | Data       |
|------|-------------|--------------------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|------------|
| 0    | EMISSIONE   | L.Terrile                      | 29/09/2023 | L.Terrile  | 29/09/2023 | L.Catallo | 29/09/2023 | D.Lagostena | 29/09/2023 |
| 1    | REVISIONE   | L.Terrile<br><i>m. Terrile</i> | 29/01/2024 | L.Terrile  | 29/01/2024 | L.Catallo | 29/01/2024 | D.Lagostena | 29/01/2024 |
|      |             |                                |            |            |            |           |            |             |            |
|      |             |                                |            |            |            |           |            |             |            |



LINEA

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| L | 4 | 4 | 1 |
|   |   |   |   |
|   |   |   |   |

SEDE TECNICA

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| L | O | 0 | 2 | 8 | 2 |
|   |   |   |   |   |   |
|   |   |   |   |   |   |

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE.....   | 1  |
| 2. NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....                                   | 2  |
| 2.1. Normativa.....  | 2  |
| 2.2. Bibliografia.....   | 2  |
| 3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....  | 3  |
| 4. STUDIO IDROLOGICO.....  | 6  |
| 4.1. Caratteristiche dello studio.....   | 6  |
| 4.2. Analisi delle stazioni pluviometriche.....                                      | 9  |
| 4.3. Analisi del bacino idrografico .....  | 15 |
| 5. VERIFICA IDRAULICA DEI MANUFATTI .....  | 25 |
| 5.1. Idraulica superficiale .....  | 25 |
| 5.1.1. Valori di permeabilità e deflusso – metodo scs (metodo del curve number)..... | 26 |
| 5.1.2. Metodo cinematico o della corrivazione .....                                  | 27 |
| 5.2. Idraulica galleria drenante ed opere annesse .....                              | 34 |
| 5.2.1. Definizione portata di progetto .....   | 34 |
| 5.2.2. Verifica barbacani di scarico .....   | 35 |
| 5.2.3. Verifica cunetta di regimentazione .....                                      | 35 |
| 5.2.4. Verifica del sistema di smaltimento.....                                      | 36 |

## 1. INTRODUZIONE

La seguente relazione rientra nell'ambito della Progettazione Esecutiva con oggetto "Aggiornamento della Progettazione esecutiva della galleria artificiale di Mele (compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino), comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale, nonché PFTE di una nuova viabilità sostitutiva del PL della stazione di Mele - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme".

Nello specifico tale relazione è inerente al progetto di realizzazione della Galleria artificiale, delle relative opere strutturali ed idrauliche, delle opere di consolidamento delle opere di contenimento preesistenti e delle opere inerenti alla sistemazione definitiva del versante, in località Mele (Genova).

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Mele, provincia della città metropolitana di Genova in Liguria. Nel punto mediano del sito, le coordinate geografiche (sistema di riferimento WGS 84) sono le seguenti: *Latitudine* 44°28'25.00"N e *8°43'59.93"E*. Di seguito uno stralcio della cartografia Google Earth con indicata la zona oggetto di studio.



Figura 1 – Ubicazione del sito di intervento.

Nel presente elaborato è contenuta la descrizione dello stato attuale del sito e degli interventi in progetto.

## 2. NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1. Normativa

- [1] Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II).
- [2] Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO – Relazione generale Torrente Polcevera (2017).
- [3] Prescrizioni tecniche-studi idrogeologici ed idraulici: prescrizioni tecniche per la progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva RFI del 12/11/2001
- [4] Manuale dei “Metodi analitici per le acque”; pubblicato da APAT (Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici) ed IRSA-CNR (Istituto di Ricerca sulle Acque-Consiglio Nazionale delle Ricerche); febbraio 2004;

### 2.2. Bibliografia

- [1] AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.
- [2] Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II).
- [3] Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO – Relazione generale Torrente Polcevera (2017).
- [4] Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- [5] Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977.
- [6] Marani M., Processi e modelli dell’Idrometeorologia, Dispense, 2005.
- [7] Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018, DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE.
- [8] Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.
- [9] Surendra, K. M., Vijay., P. S. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Springer, pp. 84-146, 2003.

### 3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Nell'ambito del progetto esecutivo delle "Opere di completamento della messa in sicurezza del versante in frana e conseguente sistemazione dei marciapiedi e binari della stazione di Mele (GE) compreso il sottopasso viaggiatori, nonché il fabbricato per la sottostazione elettrica" è stato condotto uno studio a carattere idrologico ed idraulico, riguardante il sottobacino interessato. In particolare è stata fatta una valutazione per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche conseguentemente alla nuova sistemazione dell'area e inserimento di nuovi manufatti a carattere idraulico.

In prima battuta si è condotto uno studio, di natura pluviometrica, al fine di valutarne la curva di piena ad un determinato tempo di ritorno.

Successivamente, ricavata la portata di progetto, si è proceduto alla verifica idraulica dei manufatti con il convogliamento nella rete di smaltimento esistente.

Nei paragrafi che seguono sono esposti la metodologia di lavoro adottata e i risultati a cui si è pervenuti.

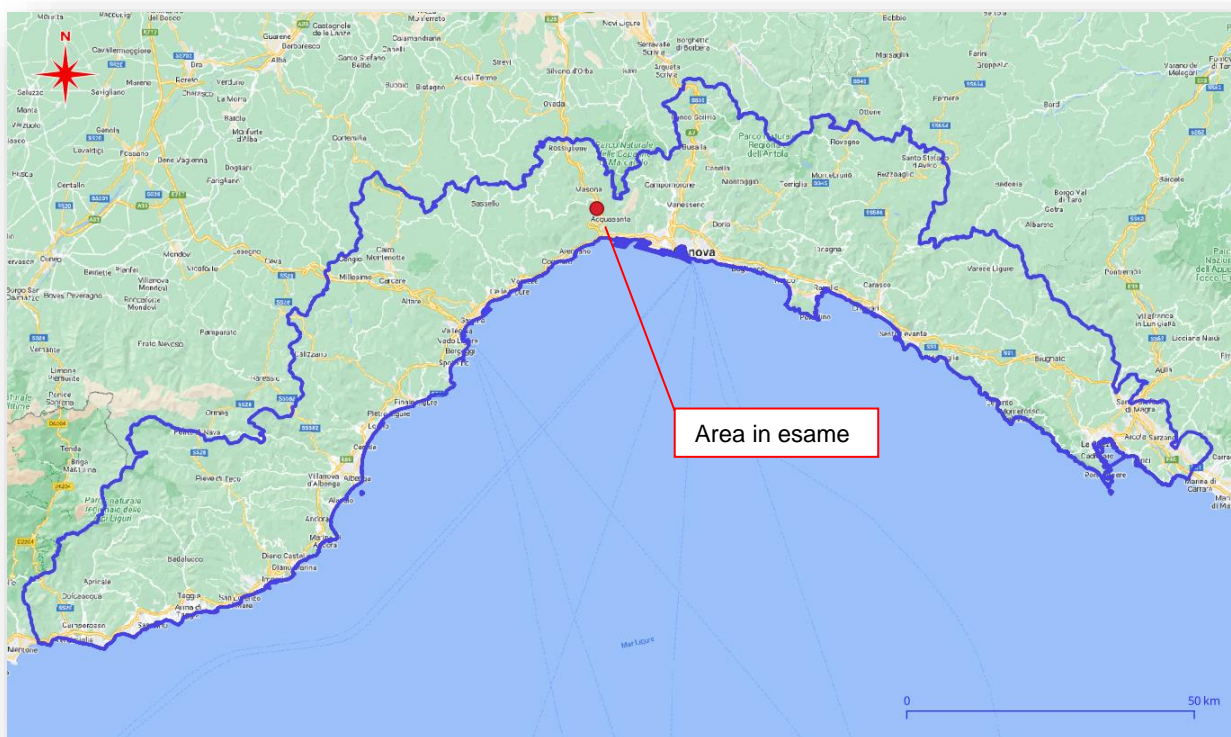


Figura 1- posizione dell'area in esame



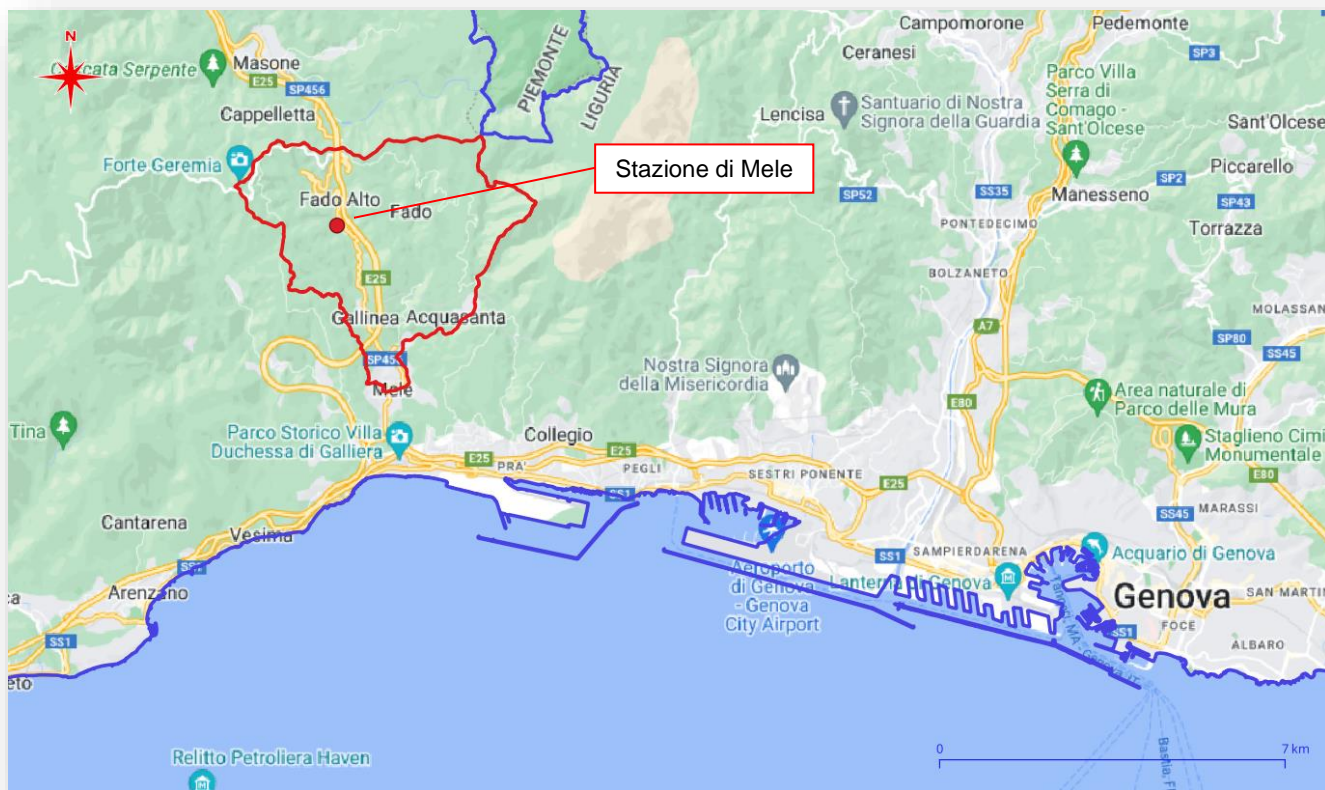


Figura 2- Territorio del Comune di Mele (GE)

Consultando il sito dell'**OMIRL - Osservatorio Meteo Idrologico della Regione Liguria** si sono potuti verificare le stazioni pluviometriche della zona ovvero:

- Mele
- Campo Ligure
- Prai
- Passo del Turchino
- Fiorino
- Monte Pennello
- Madonna delle Grazie



*Figura 3- Pluviometri limitrofi*

Dall'**Atlante Climatico della Liguria** a cura **ARPAL Regione Liguria** altresì si ricavano gli elaborati statistici relativi ai valori massimi annuali delle piogge di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrati presso le stazioni pluviometriche di Mele e di Fiorino, poichè le altre con risultavano disponibili.

## 4. STUDIO IDROLOGICO

### 4.1. Caratteristiche dello studio

Nell'ambito del progetto VA.PI. del GNDCI-CNR per la valutazione delle piene nell'Italia nord occidentale (fonte: "Rapporto regionale per i compartimenti di Parma e Genova", 2001), sono stati utilizzati i dati osservati nelle stazioni di misura pluviometriche e pluviografiche dell'**Atlante Climatico della Liguria** a cura **ARPAL Regione Liguria**. Stimati i parametri di forma,  $k$ , di scala,  $\alpha$ , e di posizione,  $\varepsilon$ , della DPC/GEV per le stazioni in esame resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno  $T_r$  e valore del coefficiente di crescita  $K$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K)} = \frac{1}{1 - e^{-\left\{ \left[ 1 - \frac{k}{\alpha}(k - \varepsilon) \right]^{1/k} \right\}}}$$

valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive. Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della relazione precedente per cui, fissato un valore  $T_r$  del periodo di ritorno in anni, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $K$ :

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{K} * (1 - e^{-ky_T})$$

dove  $y_T$  indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a:

$$y_T = -\ln \left( \ln \frac{T}{T-1} \right)$$

e i valori dei parametri  $k$ ,  $\alpha$  e  $\varepsilon$  sono relativi ai siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche. Per gli altri siti, si riportano nelle figure seguenti le mappe dei parametri  $k$ ,  $\alpha$  e  $\varepsilon$  per l'intero territorio analizzato, che sono state ricavate per interpolazione con metodi di kriging.

L'altezza di pioggia cumulata con periodo di ritorno T-ennale va quindi valutata come

$$h_T(d) = m(d)K_T$$

dove  $m(d)$  è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in  $d$  ore consecutive.



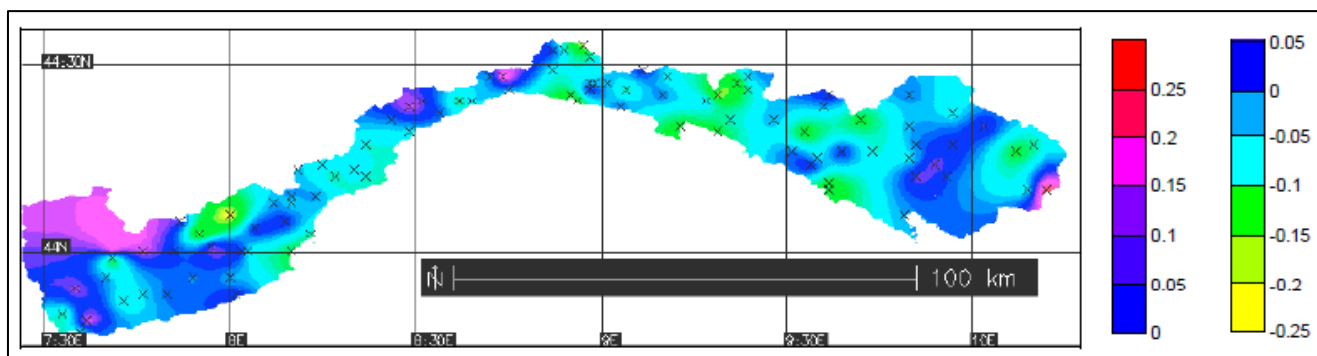


Figura 4 - VAPI: Parametro di forma  $k$

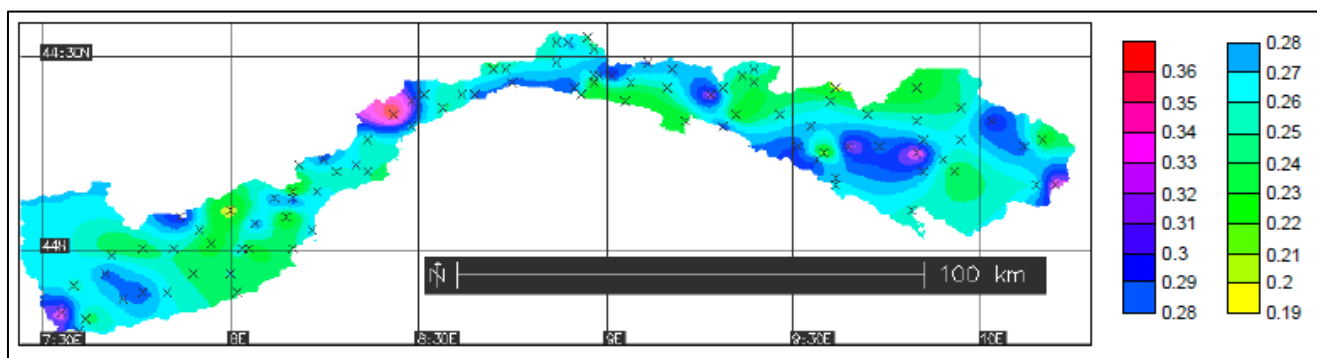


Figura 5 - VAPI: parametro di scala  $\alpha$

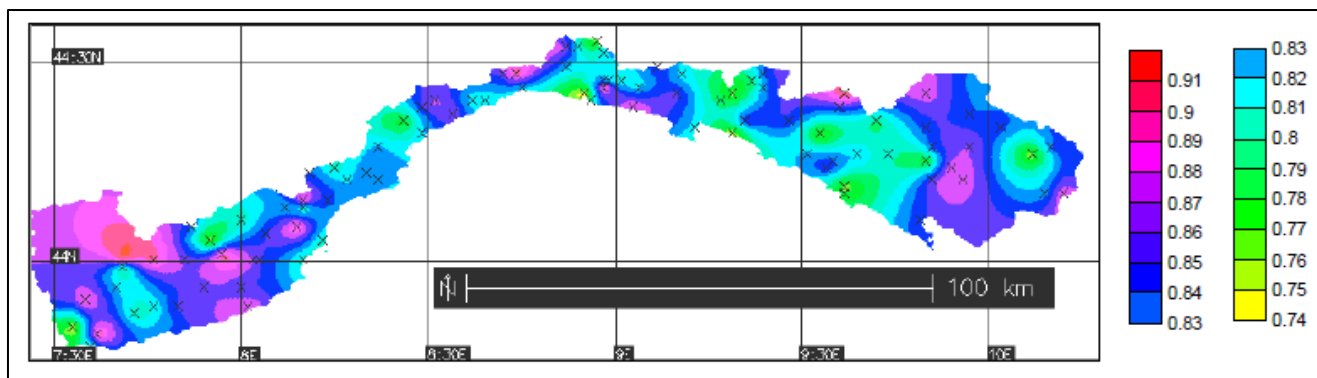


Figura 6 - VAPI: parametro di posizione  $\epsilon$

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata  $d$ ,  $m[h(d)]$ , con la durata stessa. Per la zona in esame è stata adottata la seguente espressione:

$$m[h(d)] = a_1 d^n$$

I parametri  $a_1$  e  $n$  sono stati valutati con regressione ai minimi quadrati dei dati pluviometrici presso le stazioni di misura presenti sul territorio esaminato. I valori osservati variano per  $a_1$  da 10 a 49 mm/oren e per  $n$  da 0.21 a 0.61; l'ampiezza di questi intervalli richiede un modello di variabilità spaziale dei parametri. In particolare, si è fatto

riferimento ad un modello a variabilità continua: per una pratica applicazione della legge di probabilità pluviometrica sono fornite le mappe iso-parametriche di  $a_1$  e di  $n$  per l'intero territorio, riportate nelle figure seguenti.

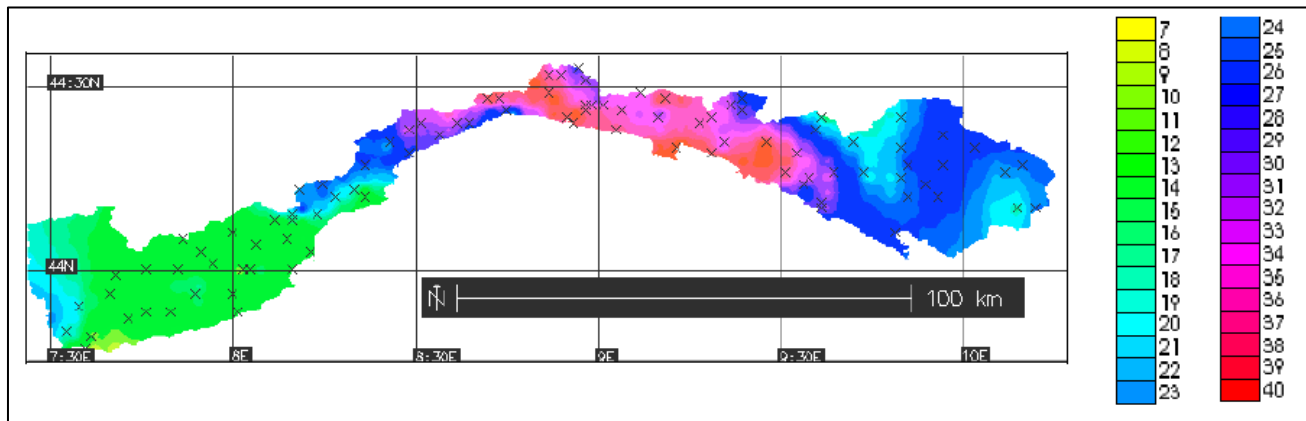


Figura 7 - VAPI: parametro  $a_1$  [mm/h<sup>n</sup>]

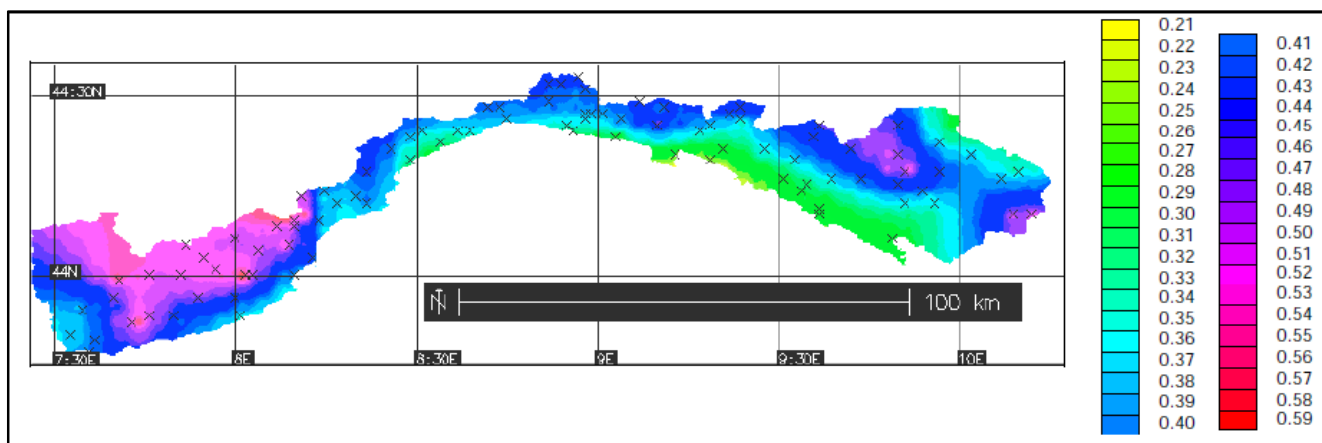


Figura 8 - VAPI: parametro  $n$

Per le stazioni di misura maggiormente vicine al bacino del in esame sono stati quindi considerati i corrispondenti valori dei parametri  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $a_1$ ,  $n$ , ricavati dalla procedura di regionalizzazione sopra descritta.

Per verificare che l'opera ferroviaria sia effettivamente adeguata alla regimentazione delle acque meteoriche, è necessario stimare la quantità di pioggia che il sistema deve smaltire in occasione delle precipitazioni di maggior intensità.

## 4.2. Analisi delle stazioni pluviometriche

Per le stazioni di misura maggiormente vicine al bacino in esame sono stati quindi considerati i corrispondenti valori dei parametri  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $a_1$ ,  $n$ , ricavati dalla procedura di regionalizzazione descritta nel paragrafo precedente.

Ottenendo i riferimenti di regionalizzazione si possono ricavare i coefficienti necessari per lo studio idrografico, tali indicazioni si ritrovano nella seguente tabella.

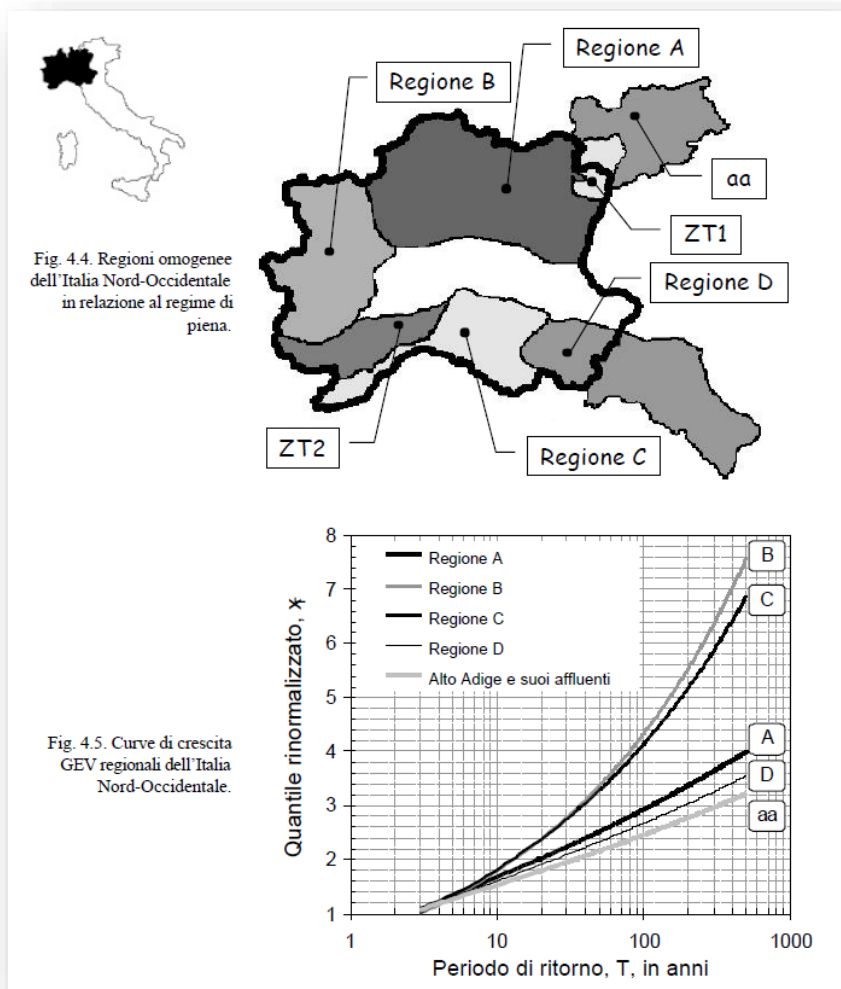
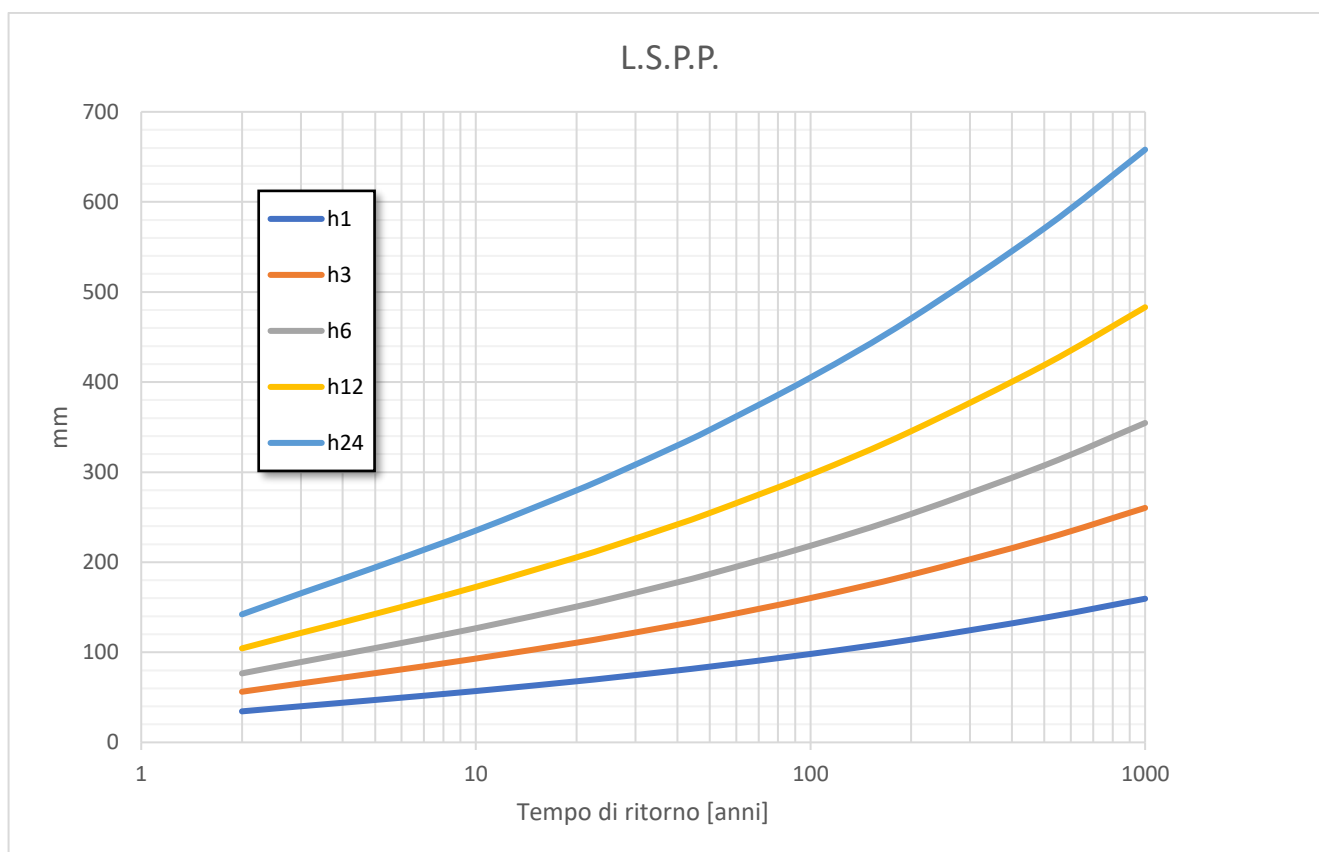


Figura 9 - VAPI: regionalizzazione

| Zona omogenea<br>Località | N   | $\alpha$ | $\varepsilon$ | $k$    | $a_1$<br>[mm/ore <sup>n</sup> ] | n     |
|---------------------------|-----|----------|---------------|--------|---------------------------------|-------|
| C                         | 753 | 0,377    | 0,643         | -0,276 |                                 |       |
| MASONE                    | 36  | 0,246    | 0,806         | -0,179 | 38,3                            | 0,446 |

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $T_R$ | 10    | 20    | 100   | 200   | 500   |
| $Y_T$ | 2,25  | 2,97  | 4,60  | 5,30  | 6,21  |
| $a_1$ | 38,3  | 38,3  | 38,3  | 38,3  | 38,3  |
| $n$   | 0,446 | 0,446 | 0,446 | 0,446 | 0,446 |
| $k_T$ | 1,34  | 1,82  | 4,14  | 5,17  | 6,87  |

| $a(T2)$ | $a(T3)$ | $a(T5)$ | $a(T10)$ | $a(T20)$ | $a(T25)$ | $a(T40)$ | $a(T50)$ | $a(T100)$ | $a(T200)$ | $a(T500)$ | $a(T1000)$ |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 34.44   | 40.10   | 47.08   | 56.98    | 67.81    | 71.54    | 79.87    | 84.06    | 98.15     | 114.06    | 138.31    | 159.47     |





Gli estremi di precipitazione delle stazioni prese in esame sono:

| <b>MELE</b>              |        |        |        | Distanza [km] |         | <b>0,782</b> |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------|--------------|
| Variabile                | max 1h | max 3h | max 6h | max 12h       | max 24h | max 9-9      |
| Anno inizio serie        | 1961   | 1961   | 1961   | 1961          | 1961    | 1961         |
| Anno fine serie          | 2010   | 2010   | 2010   | 2010          | 2010    | 2010         |
| Popolazione serie (anni) | 39     | 39     | 39     | 39            | 39      | 50           |
| Valore (mm)              | 120,1  | 219,8  | 276,2  | 276,2         | 293,2   | 252,4        |
| Anno                     | 1976   | 2006   | 2006   | 2006          | 2002    | 1965         |

| <b>FIORINO</b>           |        |        |        | Distanza [km] |         | <b>3,248</b> |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------|--------------|
| Variabile                | max 1h | max 3h | max 6h | max 12h       | max 24h | max 9-9      |
| Anno inizio serie        | 1965   | 1965   | 1965   | 1965          | 1965    | 1965         |
| Anno fine serie          | 2010   | 2010   | 2010   | 2010          | 2010    | 2007         |
| Popolazione serie (anni) | 42     | 42     | 42     | 42            | 42      | 43           |
| Valore (mm)              | 122,4  | 202    | 240,6  | 295,4         | 314     | 300          |
| Anno                     | 2009   | 1998   | 1998   | 1998          | 1965    | 1993         |

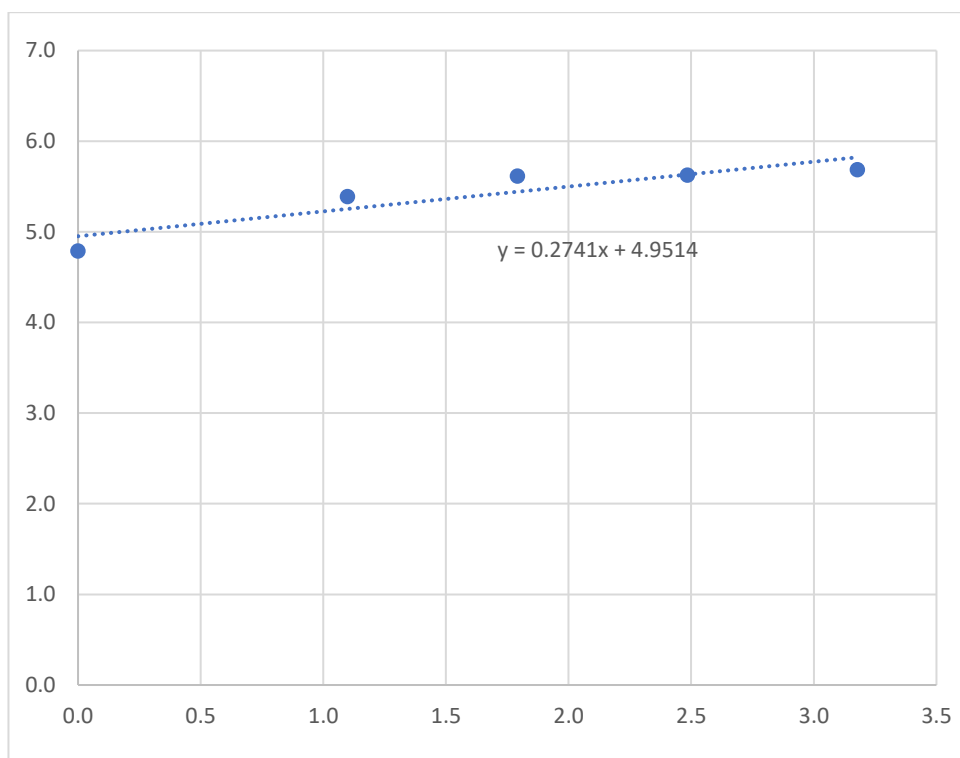
Si procede alla media ponderata dei due in funzione della distanza dalla stazione di Mele

|                      | <b>MELE</b> | <b>FIORINO</b> |
|----------------------|-------------|----------------|
| <b>Distanza [km]</b> | 0,782       | 3,248          |
| <b>Peso Wi</b>       | 0,945       | 0,055          |

Media dei massimi di differente durata

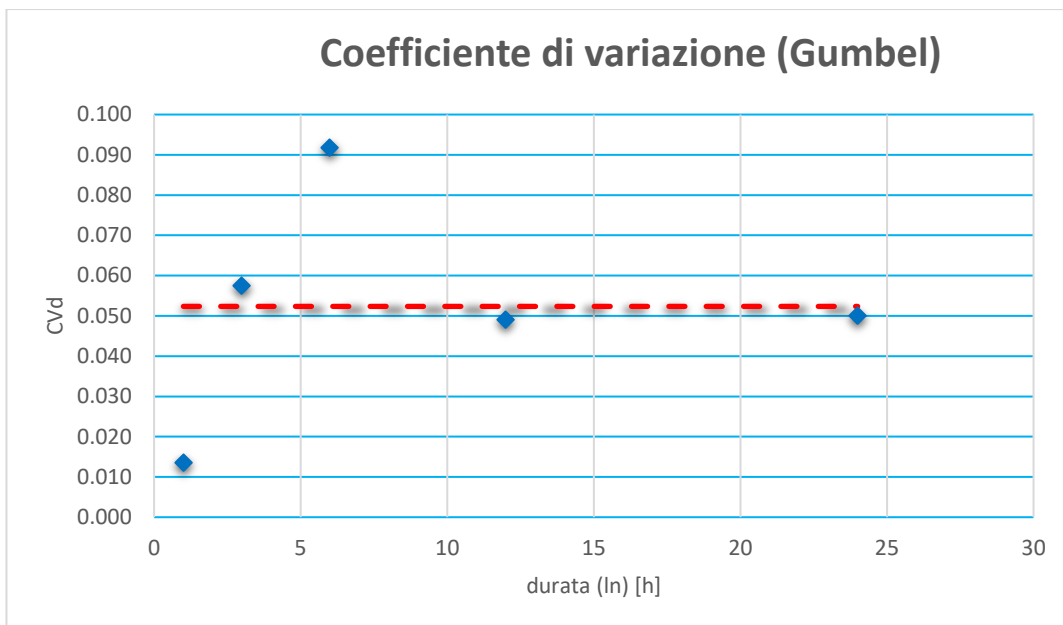
| Durata     | <b>MELE</b> | <b>FIORINO</b> | <b>Progetto</b> |
|------------|-------------|----------------|-----------------|
| <b>1h</b>  | 120,10      | 122,40         | 120,23          |
| <b>3h</b>  | 219,80      | 202,00         | 218,82          |
| <b>6h</b>  | 276,20      | 240,60         | 274,25          |
| <b>12h</b> | 276,20      | 295,40         | 277,25          |
| <b>24h</b> | 293,20      | 314,00         | 294,34          |

|                 |          |          |          |           |           |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>media</b>    | 120,23   | 218,82   | 274,25   | 277,25    | 294,34    |
| <b>i</b>        | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>6</b> | <b>12</b> | <b>24</b> |
| <b>ln media</b> | 4,8      | 5,4      | 5,6      | 5,6       | 5,7       |
| <b>ln i</b>     | 0,0      | 1,1      | 1,8      | 2,5       | 3,2       |



|  |         |
|--|---------|
| <b><math>y = 0,2741x + 4,9514</math></b> |         |
| $\beta$                                  | 4,9514  |
| a  | 141,373 |
| n  | 0,2741  |

|                 | <b>1 h</b> | <b>3 h</b> | <b>6 h</b> | <b>12 h</b> | <b>24 h</b> |
|-----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| $\sigma$        | 1.626      | 12.587     | 25.173     | 13.576      | 14.708      |
| $\mu$           | 120.226    | 218.825    | 274.249    | 277.252     | 294.340     |
| $CV_d$          | 0.014      | 0.058      | 0.092      | 0.049       | 0.050       |
| <b>CV medio</b> | 0.052      |            |            |             |             |

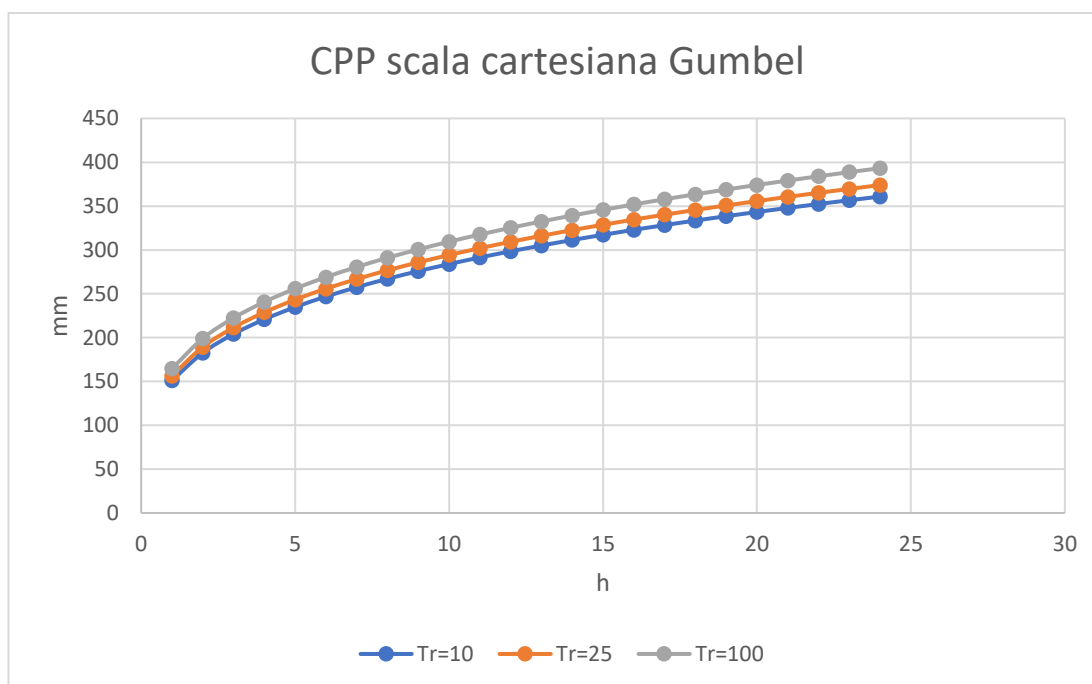


$$h_{d,T} = \bar{h}_d \left\{ 1 - CV \left[ 0,45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left( \ln \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

$$i_{d,T} = \frac{h_{d,T}}{d}$$

| Durate [h] | $\bar{h}_d$ [mm] | $h_{d,10}$ T=10 [mm] | $h_{d,25}$ T=25 [mm] | $h_{d,100}$ T=100 [mm] | $i_{d,10}$ T=10 [mm/h] | $i_{d,25}$ T=25 [mm/h] | $i_{d,100}$ T=100 [mm/h] |
|------------|------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1          | 141              | 151                  | 157                  | 165                    | 151                    | 157                    | 165                      |
| 2          | 171              | 183                  | 189                  | 199                    | 91                     | 95                     | 100                      |
| 3          | 191              | 204                  | 211                  | 222                    | 68                     | 70                     | 74                       |
| 4          | 207              | 221                  | 229                  | 241                    | 55                     | 57                     | 60                       |
| 5          | 220              | 235                  | 243                  | 256                    | 47                     | 49                     | 51                       |
| 6          | 231              | 247                  | 256                  | 269                    | 41                     | 43                     | 45                       |
| 7          | 241              | 257                  | 267                  | 281                    | 37                     | 38                     | 40                       |
| 8          | 250              | 267                  | 277                  | 291                    | 33                     | 35                     | 36                       |
| 9          | 258              | 276                  | 286                  | 301                    | 31                     | 32                     | 33                       |
| 10         | 266              | 284                  | 294                  | 309                    | 28                     | 29                     | 31                       |

|    |     |     |     |     |    |    |    |
|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 11 | 273 | 291 | 302 | 318 | 26 | 27 | 29 |
| 12 | 279 | 298 | 309 | 325 | 25 | 26 | 27 |
| 13 | 286 | 305 | 316 | 332 | 23 | 24 | 26 |
| 14 | 291 | 311 | 323 | 339 | 22 | 23 | 24 |
| 15 | 297 | 317 | 329 | 346 | 21 | 22 | 23 |
| 16 | 302 | 323 | 335 | 352 | 20 | 21 | 22 |
| 17 | 307 | 328 | 340 | 358 | 19 | 20 | 21 |
| 18 | 312 | 334 | 346 | 363 | 19 | 19 | 20 |
| 19 | 317 | 339 | 351 | 369 | 18 | 18 | 19 |
| 20 | 321 | 343 | 356 | 374 | 17 | 18 | 19 |
| 21 | 326 | 348 | 361 | 379 | 17 | 17 | 18 |
| 22 | 330 | 352 | 365 | 384 | 16 | 17 | 17 |
| 23 | 334 | 357 | 370 | 389 | 16 | 16 | 17 |
| 24 | 338 | 361 | 374 | 393 | 15 | 16 | 16 |





### 4.3. Analisi del bacino idrografico

Il sottobacino di riferimento è stato ricavato mediante elaborazioni QGIS e in particolare si è sviluppato quanto segue:

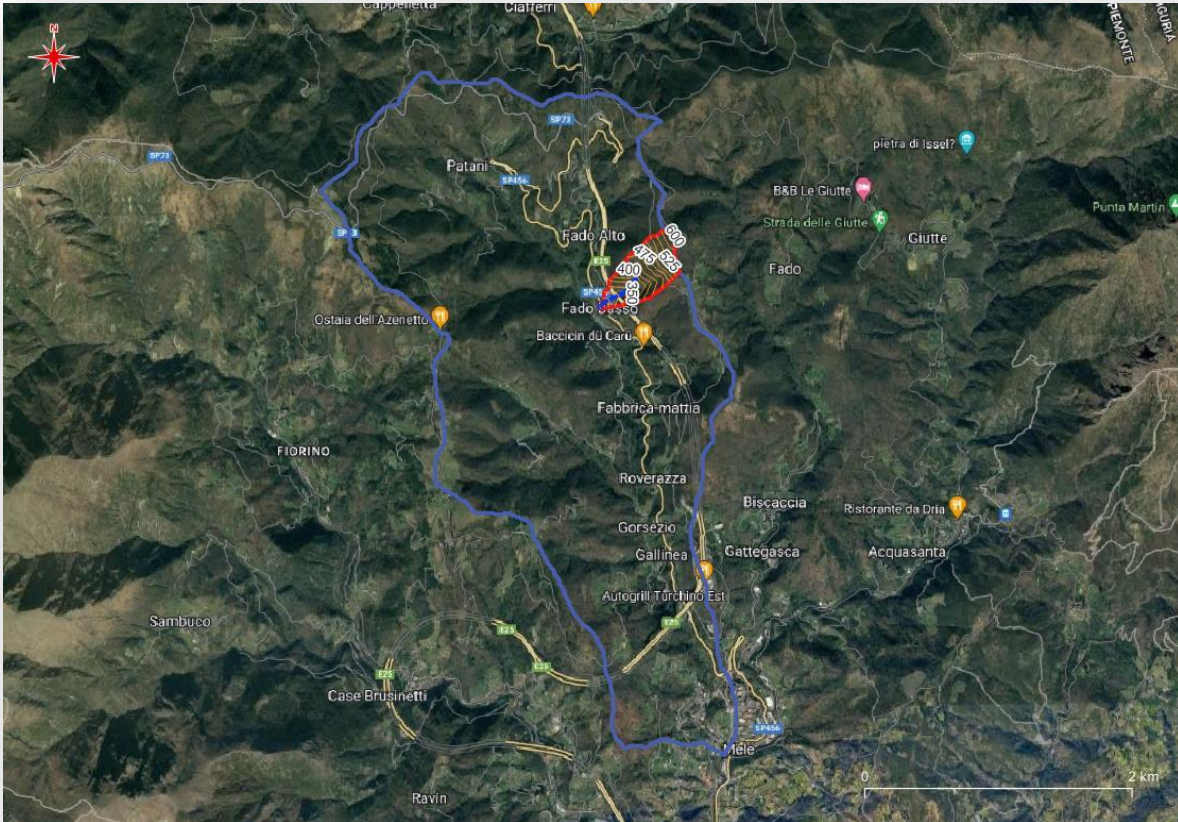


Figura 10 – QGIS : bacino idrografico

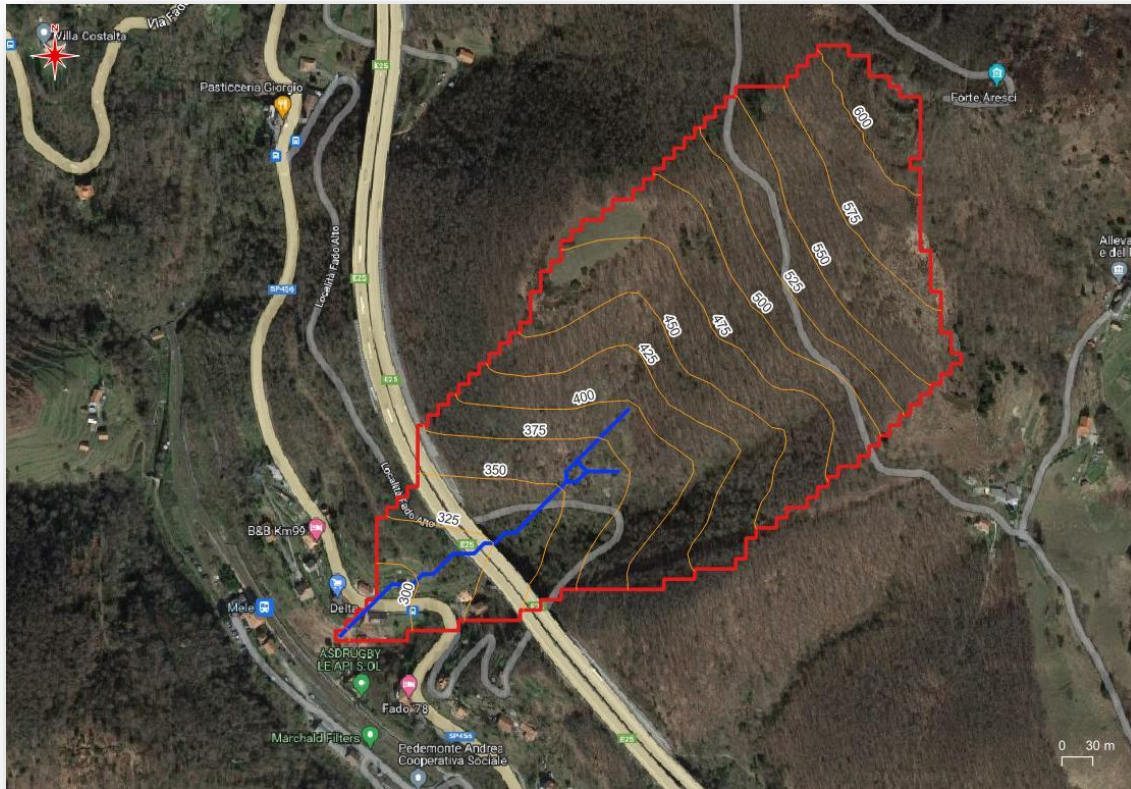
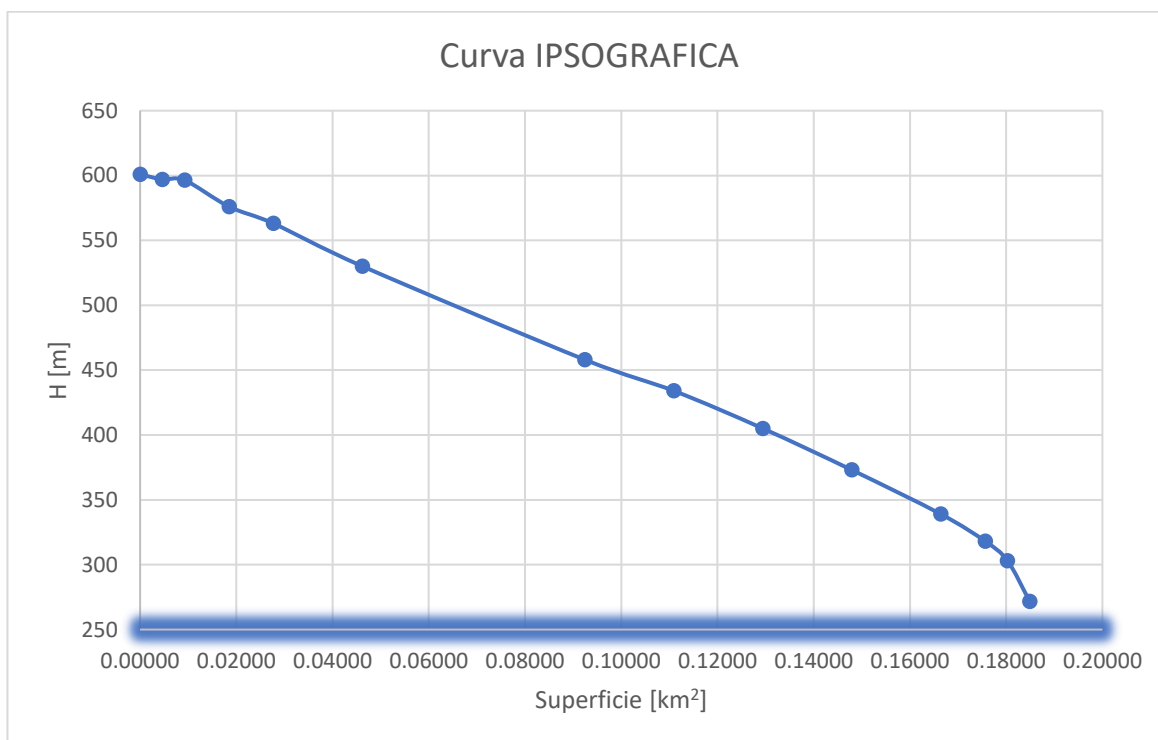


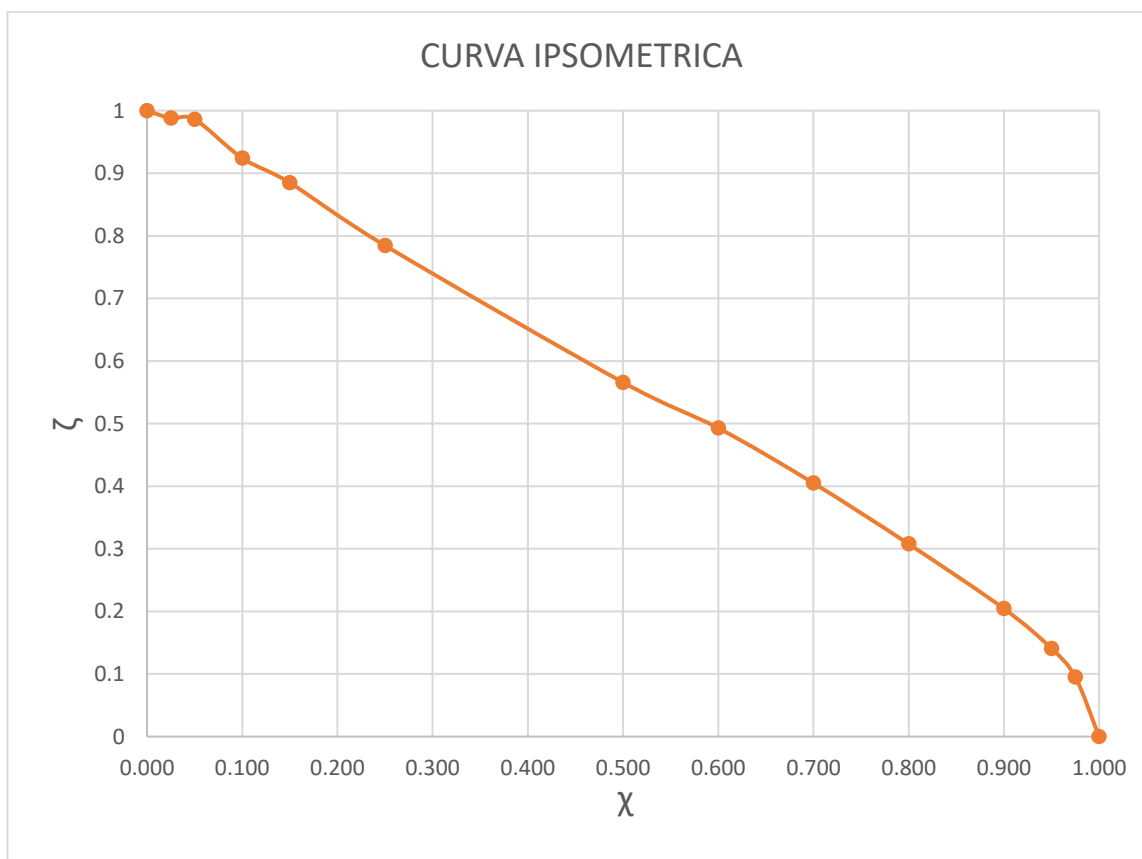
Figura 11 – QGIS : sotto bacino idrografico

| Quota max | Quota media | Quota min | Perimetro | Superficie      |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| m         | m           | m         | km        | km <sup>2</sup> |
| 600.94    | 457.71      | 271.72    | 2.401     | 0.1849          |

| id | quantili |       | Superf<br>km <sup>2</sup> | Quote<br>m |
|----|----------|-------|---------------------------|------------|
| 1  | 0        | 0.000 | 0.00000                   | 601        |
| 2  | 2.50%    | 0.025 | 0.00462                   | 597        |
| 3  | 5%       | 0.050 | 0.00925                   | 596        |
| 4  | 10%      | 0.100 | 0.01849                   | 576        |
| 5  | 15%      | 0.150 | 0.02774                   | 563        |
| 6  | 25%      | 0.250 | 0.04623                   | 530        |
| 7  | 50%      | 0.500 | 0.09245                   | 458        |
| 8  | 60%      | 0.600 | 0.11094                   | 434        |
| 9  | 70%      | 0.700 | 0.12943                   | 405        |
| 10 | 80.00%   | 0.800 | 0.14792                   | 373        |
| 11 | 90%      | 0.900 | 0.16641                   | 339        |
| 12 | 95%      | 0.950 | 0.17566                   | 318        |
| 13 | 97.50%   | 0.975 | 0.18028                   | 303        |
| 14 | 100%     | 1.000 | 0.18490                   | 272        |



| CURVA IPSOMETRICA |        |
|-------------------|--------|
| $\zeta$           | $\chi$ |
| 1.000             | 0.000  |
| 0.988             | 0.025  |
| 0.986             | 0.050  |
| 0.924             | 0.100  |
| 0.885             | 0.150  |
| 0.785             | 0.250  |
| 0.566             | 0.500  |
| 0.493             | 0.600  |
| 0.405             | 0.700  |
| 0.308             | 0.800  |
| 0.204             | 0.900  |
| 0.141             | 0.950  |
| 0.095             | 0.975  |
| 0.000             | 1.000  |





| z<br>m  | ζ     | χ     | a <sub>s</sub> (z)<br>m <sup>2</sup> | m      | q     |
|---------|-------|-------|--------------------------------------|--------|-------|
| 600.940 | 1.000 | 0.000 | 0.000                                | -0.479 | 1.000 |
| 546.070 | 0.833 | 0.201 | 0.033                                | -1.002 | 1.035 |
| 491.200 | 0.667 | 0.385 | 0.064                                | -0.875 | 1.003 |
| 436.330 | 0.500 | 0.590 | 0.098                                | -0.729 | 0.930 |
| 381.460 | 0.333 | 0.774 | 0.129                                | -0.972 | 1.085 |
| 326.590 | 0.167 | 0.930 | 0.155                                | -1.276 | 1.353 |
| 271.720 | 0.000 | 1.000 | 0.166                                |        |       |

Il tempo di corrivazione è dato dalla formula:

**Formula di Kirpich**

$$T_c = 0.95 \frac{L^{1.155}}{d^{0.385}}$$

T<sub>c</sub> (ore): tempo di corrivazione;

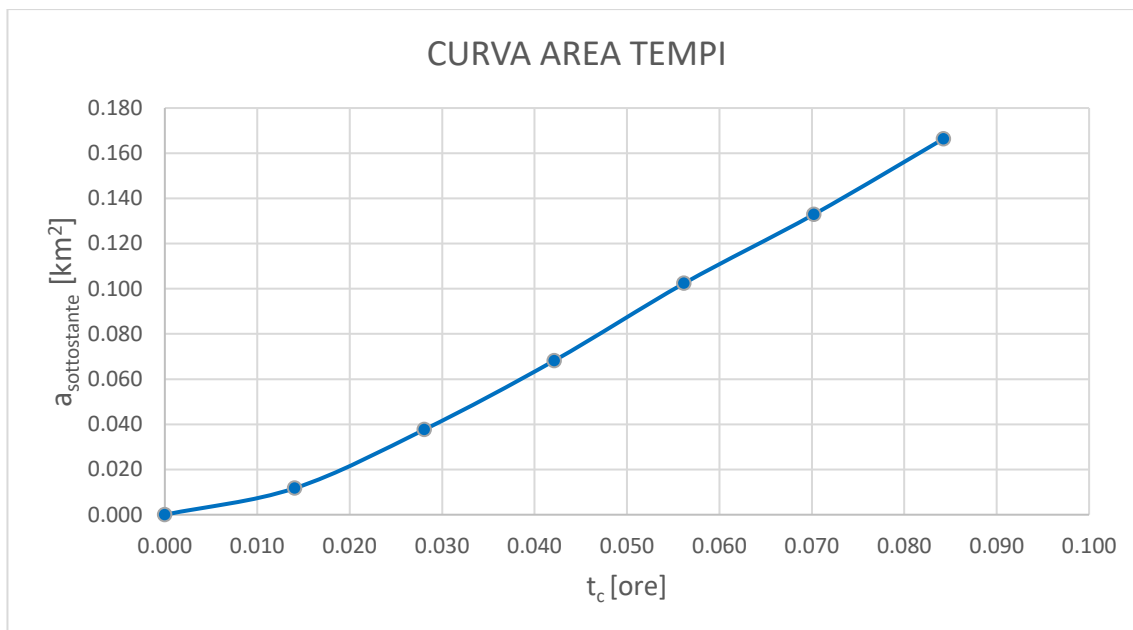
L: lunghezza dell'asta principale del bacino fino a monte (Km);

d : dislivello dell'asta principale del bacino (m).

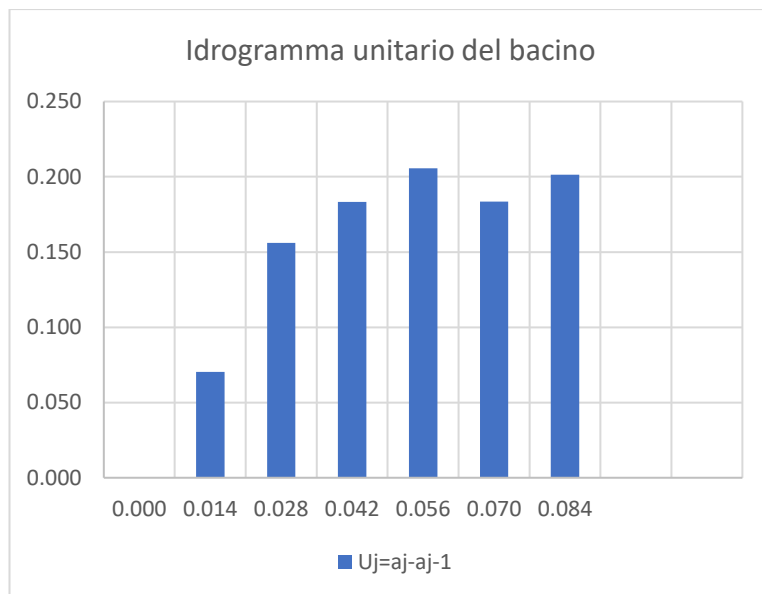
PER PICCOLI BACINI < 0,43 KM<sup>2</sup>

$$t_c = 0.084 \text{ ore} = 5.06 \text{ min}$$

| t <sub>c</sub><br>ore | z<br>m  | a <sub>sov</sub> stante<br>km <sup>2</sup> | a <sub>sott</sub> stante<br>km <sup>2</sup> |
|-----------------------|---------|--|---|
| 0.000                 | 271.720 | 0.166                                      | 0.000                                       |
| 0.014                 | 326.590 | 0.155                                      | 0.012                                       |
| 0.028                 | 381.460 | 0.129                                      | 0.038                                       |
| 0.042                 | 436.330 | 0.098                                      | 0.068                                       |
| 0.056                 | 491.200 | 0.064                                      | 0.102                                       |
| 0.070                 | 546.070 | 0.033                                      | 0.133                                       |
| 0.084                 | 600.940 | 0.000                                      | 0.166                                       |



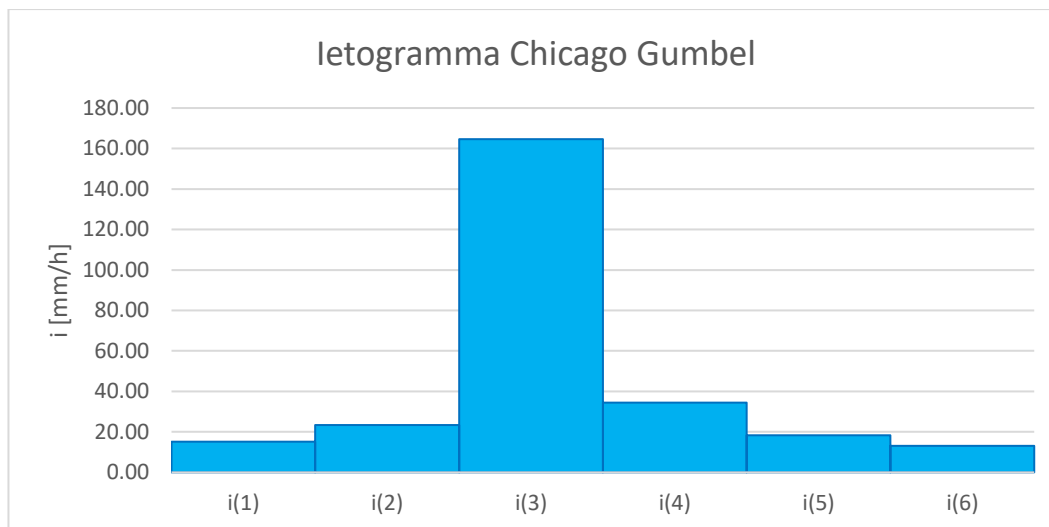
| $t_c$<br>ore | $z$<br>m | $a_{\text{sottostante}}(z)$<br>m <sup>2</sup> | $a_{\text{sottostante}}(z)$ | $U_j = a_j - a_{j-1}$ |
|--------------|----------|---|-----------------------------|-----------------------|
| 0.000        | 271.720  | 0.000   | 0.000                       | 0.000                 |
| 0.014        | 326.590  | 0.012   | 0.070                       | 0.070                 |
| 0.028        | 381.460  | 0.038   | 0.226                       | 0.156                 |
| 0.042        | 436.330  | 0.068   | 0.410                       | 0.183                 |
| 0.056        | 491.200  | 0.102   | 0.615                       | 0.206                 |
| 0.070        | 546.070  | 0.133   | 0.799                       | 0.183                 |
| 0.084        | 600.940  | 0.166   | 1.000                       | 0.201                 |



Il pluviogramma di progetto viene costruito a partire dallo letogramma Chigago Gumbel prendendo in esame un tempo di ritorno di progetto Tr=100 anni.

$$i(d) = \frac{h_{j+1} - h_j}{d_{j+1} - d_j}$$

| Durate [h] | h <sub>d,100</sub> [mm] | i(d) [mm/h] |
|------------|-------------------------|-------------|
| 1          | 164.589                 | 164.589     |
| 2          | 199.028                 | 34.439      |
| 3          | 222.423                 | 23.396      |
| 4          | 240.672                 | 18.249      |
| 5          | 255.852                 | 15.180      |
| 6          | 268.963                 | 13.111      |



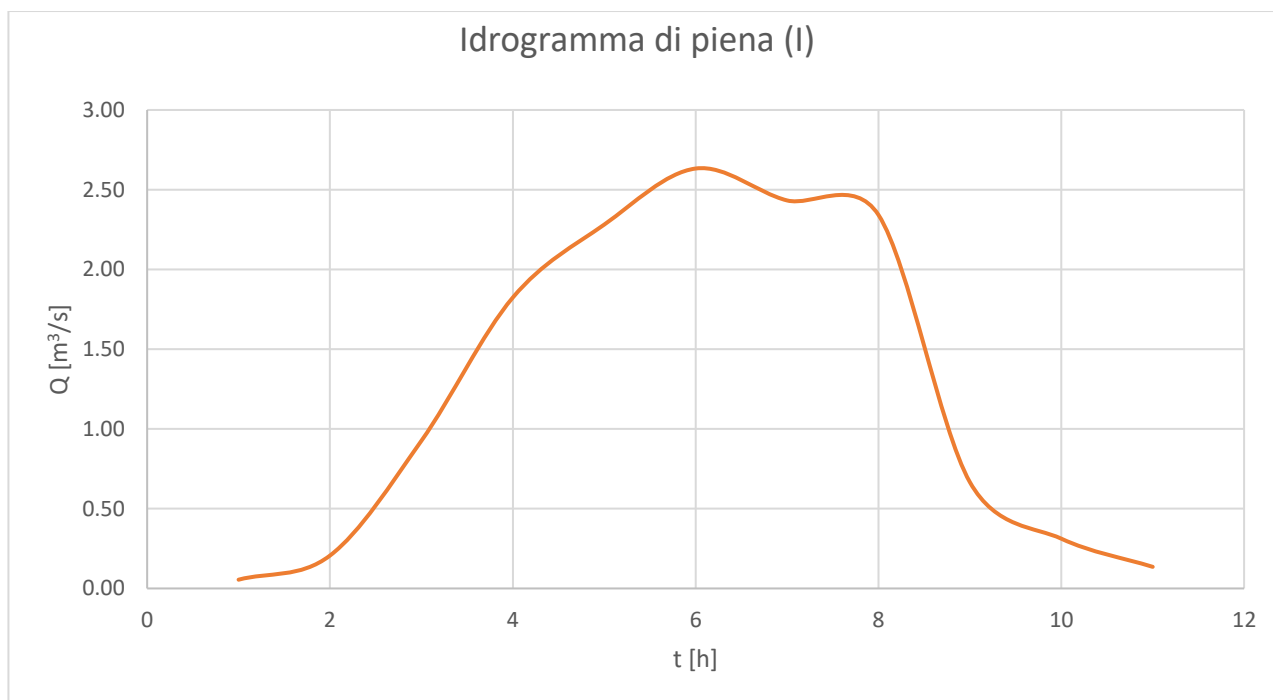
### Idrogramma (lordo) di piena

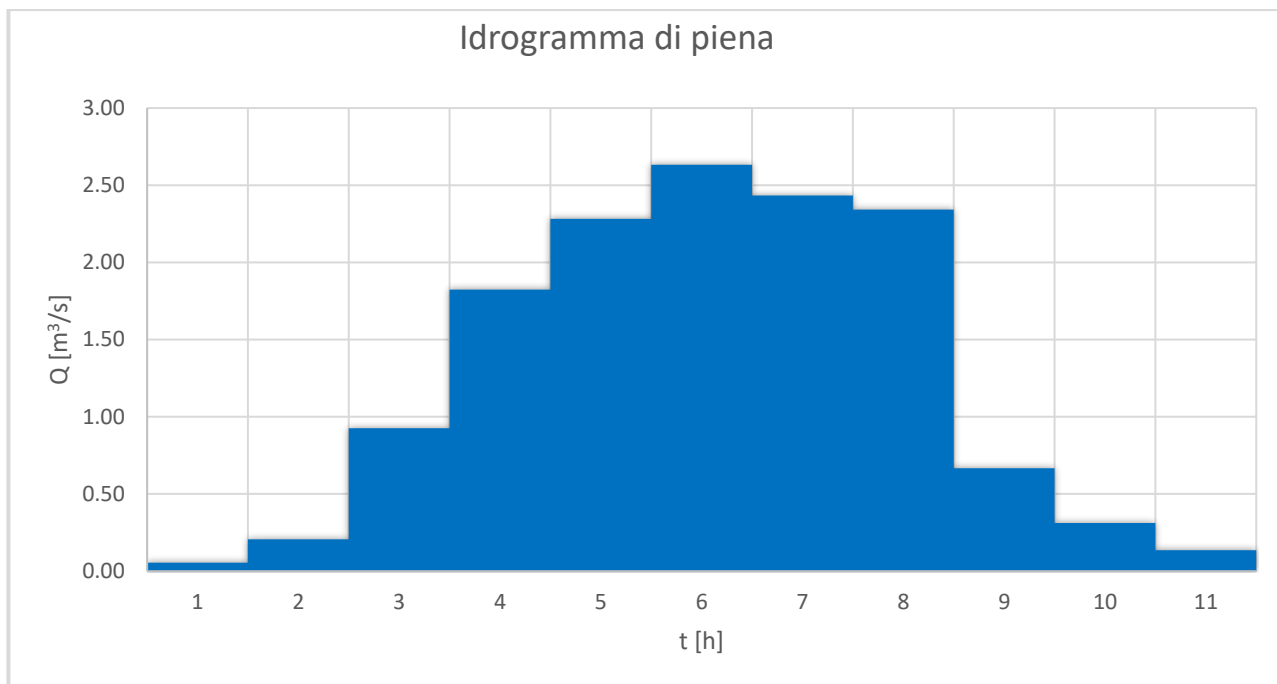
$$q_k = \frac{1}{3,6} \sum_{j=1}^k i_j \cdot U_{k-j+1}$$

| t [h]                 | 1                      | 2                      | 3                       | 4                      | 5                      | 6                      | 7      | 8      | 9      | 10    | 11    |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                       | $i_1$<br><b>15.180</b> | $i_2$<br><b>23.396</b> | $i_3$<br><b>164.589</b> | $i_4$<br><b>34.439</b> | $i_5$<br><b>18.249</b> | $i_6$<br><b>13.111</b> |        |        |        |       |       |
| $U_1$<br><b>0.070</b> | 1.069                  | 1.648                  | 11.594                  | 2.426                  | 1.286                  | 0.924                  |        |        |        |       |       |
| $U_2$<br><b>0.156</b> |                        | 2.369                  | 3.650                   | 25.681                 | 5.373                  | 2.847                  | 2.046  |        |        |       |       |
| $U_3$<br><b>0.183</b> |                        |                        | 2.782                   | 4.288                  | 30.163                 | 6.311                  | 3.344  | 2.403  |        |       |       |
| $U_4$<br><b>0.206</b> |                        |                        |                         | 3.120                  | 4.809                  | 33.833                 | 7.079  | 3.751  | 2.695  |       |       |
| $U_5$<br><b>0.183</b> |                        |                        |                         |                        | 2.784                  | 4.291                  | 30.188 | 6.317  | 3.347  | 2.405 |       |
| $U_6$<br><b>0.201</b> |                        |                        |                         |                        |                        | 3.055                  | 4.709  | 33.129 | 6.932  | 3.673 | 2.639 |
| <b>Somme</b>          | 1.069                  | 4.017                  | 18.027                  | 35.515                 | 44.416                 | 51.262                 | 47.366 | 45.600 | 12.974 | 6.078 | 2.639 |
| $q_k$                 | 0.297                  | 1.116                  | 5.007                   | 9.865                  | 12.338                 | 14.240                 | 13.157 | 12.667 | 3.604  | 1.688 | 0.733 |

| t [h] | Q<br>m <sup>3</sup> /s |
|-------|------------------------|
| 1     | 0.055                  |
| 2     | 0.206                  |
| 3     | 0.926                  |
| 4     | 1.824                  |
| 5     | 2.281                  |
| 6     | 2.633                  |
| 7     | 2.433                  |
| 8     | 2.342                  |
| 9     | 0.666                  |
| 10    | 0.312                  |
| 11    | 0.136                  |
| max   | 2.63                   |

| Superf<br>km <sup>2</sup> |
|---------------------------|
| 0.18                      |







## 5. VERIFICA IDRAULICA DEI MANUFATTI

### 5.1. Idraulica superficiale

L'area oggetto di verifica è stata suddivisa in otto sottozone denominate A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8, ognuna delle quali servita da cunette prefabbricate in c.a. denominate rispettivamente T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8.

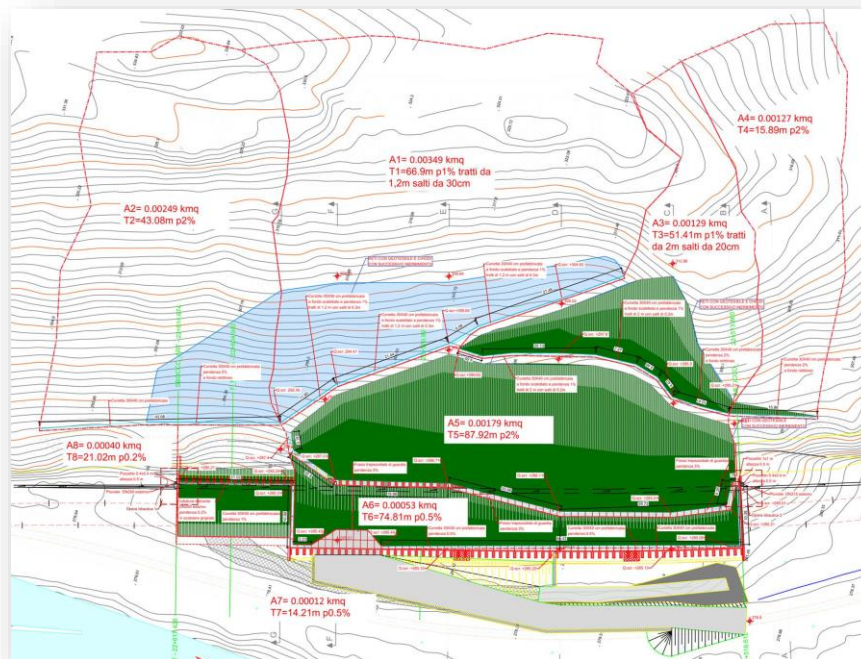


Figura 11 – QGIS: Aree pertinenti per verifiche cunette

| Area | Quota max | Quota media | Quota min | L      | Superficie      |
|------|-----------|-------------|-----------|--------|-----------------|
|      | m         | m           | m         | km     | km <sup>2</sup> |
| 1    | 330.00    | 311.50      | 293.00    | 0.0663 | 0.00349         |
| 2    | 335.00    | 314.00      | 293.00    | 0.0799 | 0.00249         |
| 3    | 330.00    | 312.50      | 295.00    | 0.0627 | 0.00129         |
| 4    | 330.00    | 312.00      | 294.00    | 0.0787 | 0.00127         |
| 5    | 298.00    | 292.00      | 286.00    | 0.0264 | 0.00179         |
| 6    | 286.00    | 285.50      | 285.00    | 0.0051 | 0.00053         |
| 7    | 287.00    | 286.00      | 285.00    | 0.0132 | 0.00012         |

|   |        |        |        |        |         |
|---|--------|--------|--------|--------|---------|
| 8 | 293.00 | 289.00 | 285.00 | 0.0134 | 0.00040 |
|---|--------|--------|--------|--------|---------|

### 5.1.1. Valori di permeabilità e deflusso – metodo scs (metodo del curve number)

Essendo il progetto per determinare gli afflussi a sezione di chiusura di una strada viene impostato per ogni area un **coefficiente del CNII pari a 65**

Una volta definito il CNII, come mostrato nella figura precedente, bisogna identificare il livello di Saturazione del terreno (S) e di conseguenza valutare il livello di intercettazione della vegetazione ( $I_a$ ) tramite le formule:

$$s = 25.4 * \left( \frac{1000}{CNII} - 10 \right)$$

$$I_a = 0.05 * S$$

Vengono valutati anche i valori del CN in condizioni asciutte del terreno (CNI) ed in condizioni umide (CNIII) attraverso le formule:

$$CNI = \frac{CNII}{2.3 * (0.013 * CNII)}$$

$$CNIII = \frac{CNII}{0.43 * (0.0057 * CNII)}$$

Si pesa la reale efficacia dei valori sopra indicati in base alla superficie a loro attribuita in percentuale di ricoprimento. Valutato il Valore  $h(tc;Tr)$  che identifica il valore della Pioggia definita netta ( $P_n$ ) si procede a valutare il valore della Pioggia efficace ( $P_e$ ) nelle tre condizioni di umidità del terreno attraverso la formula:

$$P_e = \frac{(P_n - I_a)^2}{P_n - I_a + S}$$

Valutato l'apporto della pioggia efficace e quindi considerando sia il livello di saturazione del terreno e la capacità intercettante della vegetazione si ottengono attraverso il rapporto:

$$\varphi = \frac{P_e}{P_n}$$

I valori del coefficiente di deflusso utilizzato per determinare le portate massime dovute alle intensità.

### 5.1.2. Metodo cinematico o della corrivazione

Il metodo cinematico o della corrivazione si basa sulle seguenti ipotesi:

- la formazione della piena è dovuta unicamente ad un trasferimento della massa liquida
- ogni goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende solo dal punto in cui è caduta
- la velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce
- la portata defluente è data dalla somma delle portate elementari provenienti dalle diverse parti del bacino, che si presentano nello stesso istante alla sezione di chiusura

Nell'ulteriore ipotesi di pluviogramma rettangolare (pioggia d'intensità costante), si può assumere che la portata massima  $Q_{max}$ , in una generica sezione di una rete, si ottenga per una durata di pioggia pari al massimo tempo di corrivazione del bacino sotteso e risulti pari a:

$$Q_{max} = A_b * \varphi(T_R; CN) * i(T_R; t_c) * K * r$$

dove:

$Q_{max}$ : portata al colmo o di picco [ $m^3/s$ ]

$\varphi(T_R; CN)$ : coefficiente di deflusso dipendente dal Tempo di ritorno e dall'entità di saturazione del terreno

$i(T_R; t_c)$ : intensità media di pioggia per una durata pari a  $t_c$  (tempo di corrivazione) nel tempo di ritorno assegnato [ $mm/h$ ]

$A_b$  : superficie del bacino [ $Km^2$ ]

$r$ : Coefficiente di ragguaglio

$K=0,278$ : calcolato in base alle unità di misura sopraindicate e denominato Coefficiente di cambio dimensione o fattore di scala [adimensionale]

Il coefficiente di ragguaglio si calcola attraverso la formula:

$$r = 1 - e^{-1,1*(t_c^{0,25})} + e^{-1,1*(t_c^{0,25})-0,00386*A_b}$$

dove:

$A_b$  : superficie del bacino [ $Km^2$ ]

$r$ : Coefficiente di ragguaglio

$t_c$  = tempo di corrivazione [ore]

Andando ad analizzare i dati di pioggia ottenuti dalla regionalizzazione si ottengono i dati a tempo di ritorno fissato per la verifica della cunetta sia battente che a stramazzo:

Figura 2 - Schema del modello

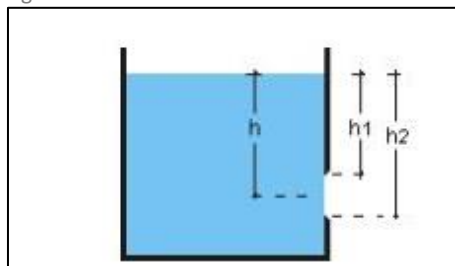


Figura 3 - A battente

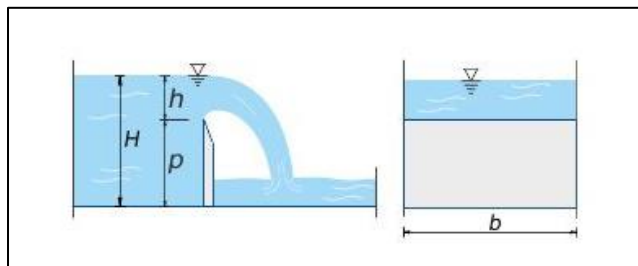


Figura 4 - A Stramazzo

La portata deve essere infine confrontata con le portate smaltite sia a stramazzo che a battente che la cunetta può smaltire,

La portata a battente si calcola:

$$Q_b = C_q * (\text{Sezione disponibile}) * \sqrt{2 * g * y_c}$$

Mentre la portata a stramazzo si calcola:

$$Q_s = \mu * (\text{Perimetro disponibile}) * \sqrt{2 * g * y_c}^{3/2}$$

Dove:

- $C_q$ = coefficiente di portata che cautelativamente viene assunto pari a 0,61
- $g$ =forza di gravità
- $y_c$ =livello critico assunto come livello idrico di valle
- $\mu$  = coefficiente di efflusso

il livello critico nel caso di raccolta diretta si assume pari alla larghezza utile della sezione tramite:

$$y_c = \left[ \frac{Q^2}{g * b^2} \right]^{1/3}$$

Dove:

- $b$ = Larghezza utile della sezione

Mentre il coefficiente  $\mu$  di efflusso si valuta attraverso la formula:

$$\mu = \left( 0.405 + \frac{0.003}{h} \right) * \left( 1 + 0.55 * \frac{h^2}{H^2} \right)$$

Siccome non esiste una paratoia per lo stramazzo allora:

$$h = y_c$$

$$H = h = y_c$$

Infine si è valutato che le portate smaltibili dalle canalette siano superiori alle portate al colmo delle singole aree. Inoltre si è anche appurato che le velocità del fluido all'interno delle stesse non siano superiori ai 3,00 m/s

Di seguito quanto elaborato:

| Area | Tc     |
|------|--------|
|      | h      |
| 1    | 0.0103 |
| 2    | 0.0122 |
| 3    | 0.0099 |
| 4    | 0.0127 |
| 5    | 0.0055 |
| 6    | 0.0021 |
| 7    | 0.0049 |
| 8    | 0.0029 |

| Tr=25 |       |      |       |
|-------|-------|------|-------|
| Area  | Pn    | Pe   | φ     |
|       | mm    | mm   |       |
| 1     | 9.29  | 0.43 | 0.047 |
| 2     | 10.01 | 0.51 | 0.051 |
| 3     | 9.12  | 0.42 | 0.046 |
| 4     | 10.20 | 0.54 | 0.053 |
| 5     | 7.02  | 0.22 | 0.032 |
| 6     | 4.61  | 0.08 | 0.016 |
| 7     | 6.67  | 0.20 | 0.030 |
| 8     | 5.31  | 0.11 | 0.021 |

| Tr=100 |       |      |       |
|--------|-------|------|-------|
| Area   | Pn    | Pe   | φ     |
|        | mm    | mm   |       |
| 1      | 12.75 | 0.87 | 0.069 |
| 2      | 13.74 | 1.03 | 0.075 |
| 3      | 12.51 | 0.84 | 0.067 |
| 4      | 14.00 | 1.07 | 0.076 |
| 5      | 9.63  | 0.47 | 0.049 |
| 6      | 6.32  | 0.17 | 0.027 |
| 7      | 9.15  | 0.42 | 0.046 |
| 8      | 7.29  | 0.25 | 0.034 |

| Portate al colmo |                                |                                 |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Area             | Q <sup>25</sup> <sub>max</sub> | Q <sup>100</sup> <sub>max</sub> |
|                  | m <sup>3</sup> /s              | m <sup>3</sup> /s               |
| 1                | 0.041                          | 0.082                           |
| 2                | 0.029                          | 0.058                           |
| 3                | 0.015                          | 0.031                           |
| 4                | 0.015                          | 0.030                           |
| 5                | 0.020                          | 0.043                           |
| 6                | 0.005                          | 0.012                           |
| 7                | 0.001                          | 0.003                           |
| 8                | 0.004                          | 0.009                           |



| Geometria delle canalette |              |         |           |         |      |                |            |          |
|---------------------------|--------------|---------|-----------|---------|------|----------------|------------|----------|
| Area                      | ID Canaletta | tipo    | Lunghezza | Altezza | Base | Sez. disp.     | Per. disp. | Pendenza |
|                           |              |         | m         | m       | m    | m <sup>2</sup> | m          |          |
| 1                         | T1           | rett.   | 66.90     | 0.40    | 0.30 | 26.76          | 134.40     | 1.0%     |
| 2                         | T2           | rett.   | 43.08     | 0.40    | 0.30 | 17.23          | 86.76      | 2.0%     |
| 3                         | T3           | rett.   | 51.41     | 0.40    | 0.30 | 20.56          | 103.42     | 1.0%     |
| 4                         | T4           | rett.   | 15.89     | 0.40    | 0.30 | 6.36           | 32.38      | 2.0%     |
| 5                         | T5           | trapez. | 87.92     | 0.30    | 0.30 | 26.38          | 176.44     | 2.0%     |
| 6                         | T6           | rett.   | 74.81     | 0.40    | 0.30 | 29.92          | 150.22     | 0.5%     |
| 7                         | T7           | rett.   | 14.21     | 0.40    | 0.30 | 5.68           | 29.02      | 0.5%     |
| 8                         | T8           | rett.   | 21.02     | 0.40    | 0.30 | 8.41           | 42.64      | 0.2%     |

| Livello critico ( $Y_c$ ) / Coefficiente di efflusso ( $\mu$ ) |           |            |       |
|--|-----------|------------|-------|
| Area   | $Y_{c25}$ | $Y_{c100}$ | $\mu$ |
|  | m         | m          |       |
| 1  | 0.0034    | 0.0054     | 0.639 |
| 2  | 0.0036    | 0.0057     | 0.639 |
| 3  | 0.0021    | 0.0033     | 0.639 |
| 4  | 0.0045    | 0.0071     | 0.639 |
| 5  | 0.0018    | 0.0029     | 0.643 |
| 6  | 0.0008    | 0.0014     | 0.639 |
| 7  | 0.0010    | 0.0016     | 0.639 |
| 8  | 0.0016    | 0.0027     | 0.639 |

| Portate a battente |                           |                    |                           |                     |
|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Area               | Tr25                      |                    | Tr100                     |                     |
|                    | $Q_b$ [m <sup>3</sup> /s] | > $Q^{25}_{max}$ ? | $Q_b$ [m <sup>3</sup> /s] | > $Q^{100}_{max}$ ? |
| 1                  | 4.195                     | ok                 | 5.298                     | ok                  |
| 2                  | 2.797                     | ok                 | 3.521                     | ok                  |
| 3                  | 2.525                     | ok                 | 3.191                     | ok                  |
| 4                  | 1.149                     | ok                 | 1.446                     | ok                  |
| 5                  | 2.990                     | ok                 | 3.828                     | ok                  |
| 6                  | 2.268                     | ok                 | 2.998                     | ok                  |
| 7                  | 0.479                     | ok                 | 0.615                     | ok                  |
| 8                  | 0.907                     | ok                 | 1.183                     | ok                  |

| Portate a stramazzo |                           |                    |                           |                     |
|---------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Area                | Tr25                      |                    | Tr100                     |                     |
|                     | $Q_s$ [m <sup>3</sup> /s] | > $Q^{25}_{max}$ ? | $Q_s$ [m <sup>3</sup> /s] | > $Q^{100}_{max}$ ? |
| 1                   | 0.074                     | ok                 | 0.150                     | ok                  |
| 2                   | 0.053                     | ok                 | 0.106                     | ok                  |
| 3                   | 0.027                     | ok                 | 0.056                     | ok                  |
| 4                   | 0.027                     | ok                 | 0.055                     | ok                  |
| 5                   | 0.037                     | ok                 | 0.078                     | ok                  |
| 6                   | 0.009                     | ok                 | 0.022                     | ok                  |
| 7                   | 0.002                     | ok                 | 0.005                     | ok                  |
| 8                   | 0.008                     | ok                 | 0.017                     | ok                  |

| Portate smaltibili |             |      |          |                         |                      |          |              |
|--------------------|-------------|------|----------|-------------------------|----------------------|----------|--------------|
| ID Canaletta       | 0.8*Altezza | Base | Pendenza | Q <sub>smaltibile</sub> |                      | Velocità |              |
|                    | m           | m    |          | m <sup>3</sup> /s       | > Q <sub>max</sub> ? | m/s      | < 3,00 m/s ? |
| T1                 | 0.32        | 0.30 | 0.010    | 0.203                   | ok                   | 2.118    | ok           |
| T2                 | 0.32        | 0.30 | 0.020    | 0.288                   | ok                   | 2.995    | ok           |
| T3                 | 0.32        | 0.30 | 0.010    | 0.203                   | ok                   | 2.118    | ok           |
| T4                 | 0.32        | 0.30 | 0.020    | 0.288                   | ok                   | 2.995    | ok           |
| T5                 | 0.24        | 0.30 | 0.020    | 0.202                   | ok                   | 2.812    | ok           |
| T6                 | 0.32        | 0.30 | 0.005    | 0.144                   | ok                   | 1.497    | ok           |
| T7                 | 0.32        | 0.30 | 0.005    | 0.144                   | ok                   | 1.497    | ok           |
| T8                 | 0.32        | 0.30 | 0.002    | 0.091                   | ok                   | 0.947    | ok           |

Come si può evincere dai risultati ottenuti si nota chiaramente che le portate a battente e a stramazzo per i TR di 25 anni e 100 anni relative alle cunette di riferimento sono abbondantemente superiori alle portate in ingresso dal versante e pertanto sono perfettamente idonee allo smaltimento delle acque.

## 5.2. Idraulica galleria drenante ed opere annesse

### 5.2.1. Definizione portata di progetto

La galleria drenante è un'opera di drenaggio e laminazione dei deflussi sub-superficiali adibita a garantire la massima efficienza del sistema ed evitare pressioni aggiuntive sulla struttura.

Per poter definire le portate si ipotizza il caso estremo in cui tutti i dreni presenti scarichino nel medesimo istante, con un grado di riempimento massimo del 90% della sezione disponibile.

I parametri a singolo dreno utilizzati per il calcolo sono i seguenti:

| Diametro esterno | Diametro Interno | Scabrezza         |
|------------------|------------------|-------------------|
| $D_{est}=[mm]$   | $D_{int}=[mm]$   | $K_s=[m^{1/3}/s]$ |
| 50               | 48               | 80                |

| dislivello            | Lunghezza | Pendenza  |          |          |
|-----------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| $Q_{max}-Q_{min}=[m]$ | $L=[m]$   | $i=[m/m]$ | $i=[\%]$ | $i=[\%]$ |
| 15.53                 | 60        | 0.259     | 25.9     | 259      |

Di seguito sono presenti i valori ottenuti a singolo dreno per vari gradi di riempimento:

| GR dreni | Q a dreno |          |         |
|----------|-----------|----------|---------|
|          | $[\%]$    | $[mc/s]$ | $[l/s]$ |
| 50       | 0.0019    | 1.9      |         |
| 70       | 0.00325   | 3.25     |         |
| 90       | 0.00411   | 4.11     |         |

Tali valori sono ipotizzati non tenendo conto dei pozzi drenanti di monte.

La galleria drenante è alimentata da 30 dreni su 56 metri di lunghezza, per una superficie di drenaggio di circa 17 metri quadri in sezione, tali parametri determinano un volume totale di circa 952 metri cubi.

Ipotizzando che il materiale di riempimento grossolano deve essere di circa 3 centimetri di diametro, il volume disponibile della galleria drenante diventa 285,6 metri cubi, in quanto tale diametro dei grani garantisce all'acqua all'incirca un volume disponibile del 30% del totale.

Questa considerazione comporta la valutazione del tempo di picco di riempimento in base alla portata entrante considerando che la galleria non abbia una portata uscente.

Vengono riportati di seguito i parametri del calcolo:

| GR dreni | Q a dreno | Q a lotto    | tp          |          |          |
|----------|-----------|--------------|-------------|----------|----------|
| $[\%]$   | $[mc/s]$  | tot $[mc/s]$ | $[s]$       | $[min]$  | $[h]$    |
| 50       | 0.0019    | 0.057        | 5010.526316 | 83.50877 | 1.391813 |
| 70       | 0.00325   | 0.0975       | 2929.230769 | 48.82051 | 0.813675 |
| 90       | 0.00411   | 0.1233       | 2316.301703 | 38.60503 | 0.643417 |

### 5.2.2. Verifica barbacani di scarico

I barbacani di svuotamento della galleria servono a garantire la sua sicurezza permettendo a eventuali volumi aggiuntivi entranti, non essendo il sistema completamente chiuso; tali volumi non sono valutabili per l'aleatorietà dei sistemi di monte che potrebbero generare ulteriori portate entranti al sistema drenante.

Per questa ragione si è provveduto a inserire su tutta la galleria drenante prefabbricata dei fori di smaltimento per evitare carichi alla struttura.

### 5.2.3. Verifica cunetta di regimentazione

La verifica della cunetta di regimentazione viene eseguita in moto uniforme attraverso i parametri seguenti:

| Scabrezza         | Portata     | Lunghezza |
|-------------------|-------------|-----------|
| $K_s=[m^{1/3}/s]$ | $Q=[m^3/s]$ | $L=[m]$   |
| 66.6666667        | 0.1233      | 56        |

| Dislivello |           | Pendenza |          |
|------------|-----------|----------|----------|
| $D_i=[m]$  | $i=[m/m]$ | $i=[\%]$ | $i=[\%]$ |
| 0.112      | 0.002     | 0.002    | 2.00000  |

La cunetta rettangolare presente è stata dimensionata per massimizzare gli spazi disponibili e per gestire la portata massima in entrata.

| Altezza H | Larghezza B | Scabrezza           |                   |
|-----------|-------------|---------------------|-------------------|
| [m]       | [m]         | $K_s = [m^{1/3}/s]$ | $n = [s/m^{1/3}]$ |
| 0.3       | 0.8         | 66.6666667          | 0.015             |

I risultati ottenuti sono

| Sez. Idrica   | Per. Bagnato | Rag. Idraulico | Velocità  | Alt. Idrica | Grado Riempimento | Volumi totali  |
|---------------|--------------|----------------|-----------|-------------|-------------------|----------------|
| $\Omega=[mq]$ | $P=[m]$      | $R_i=[m]$      | $U=[m/s]$ | $Y=[m]$     | $GR=[\%]$         | $V_{tot}=[mc]$ |
| 0.16          | 1.20         | 0.13           | 0.78      | 0.2         | 0.66              | 8.96           |

Che garantiscono l'ottima funzionalità della cunetta di regimentazione interna.

#### 5.2.4. Verifica del sistema di smaltimento

La verifica deve essere eseguita attraverso il modello dell'invaso lineare tenendo conto dei volumi entranti generati dalla cunetta di regimentazione, e non dalle portate.

Questo modello viene applicato in quanto il pozzetto di raccolta, come ogni pozzetto inserito in una rete di smaltimento, crea discontinuità nel tracciato alterando drasticamente le portate a causa del cambio repentino delle sezioni.

Il modello, di conseguenza, tiene conto dei volumi generati al tempo di picco dalla cunetta di regimentazione. I volumi al tempo di picco sono stati valutati nel paragrafo precedente.

tale modello, dal quale semplificando si ottiene anche la valutazione dei volumi attraverso l'invarianza idraulica, si può descrivere come segue:

Stabilito il collettore da dimensionare (o verificare), si definisce il bacino urbano drenato. Il modello dell'invaso lineare utilizza un legame lineare fra la portata  $Q(t)$  nella sezione di chiusura e il volume  $W(t)$  immagazzinato dal sistema bacino-rete a monte della sezione nel medesimo istante  $t$ :

$$W(t) = K * Q(t)$$

Il metodo italiano dell'invaso lineare considera esplicitamente i volumi invasati dal sistema bacino-rete a monte del collettore da dimensionare.

Ipotesi del metodo italiano dell'invaso lineare:

- Funzionamento autonomo di tutti i collettori: nessun rigurgito o richiamo;
- Regime di moto uniforme in ogni collettore: pelo libero parallelo al fondo del collettore; volume invasato pari al prodotto della lunghezza del collettore per l'area bagnata;
- Funzionamento sincrono: tutti i collettori raggiungono contemporaneamente il massimo volume invasabile.

Per le ipotesi assunte, la costante di invaso  $K$  può essere scritta:

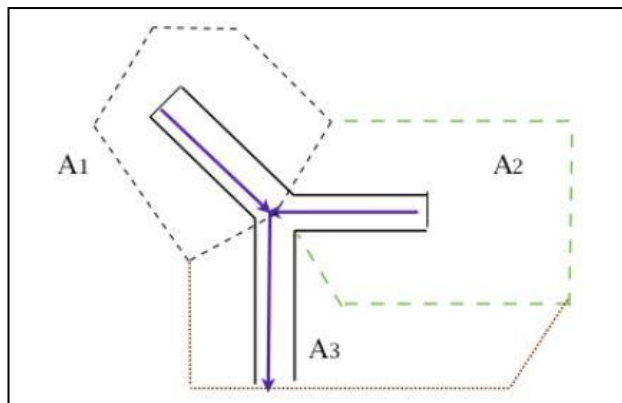
$$K = \frac{W(t)}{Q(t)} = \frac{W_m}{Q_M}$$

Dove:

- $W_m$  = massimo volume invasato dal sistema bacino-rete a monte della tratta da dimensionare [mc];
- $Q_M$  = la massima portata al colmo della tratta da dimensionare [mc/s];

Lo studio della rete impone un calcolo iterativo tra diametri di condotte, gradi di riempimento e pendenze; tenendo conto dei volumi aggiuntivi provenienti da monte, quindi, è indispensabile considerare la struttura a rete del reticolo idraulico che si va costruendo attraverso la semplice figura riportata di seguito:





La progettazione parte da una delle aree “di testa”, A1 o A2, dove la portata è descritta dal modello di invaso lineare.

Inoltre, le condizioni al contorno principali sono:

- Funzionamento sincrono: tutti i collettori si riempiono contemporaneamente;
- Funzionamento autonomo: i collettori trascurano eventuali rigurgiti indotti sui singoli rami da parte dei collettori che seguono a valle;
- Moto turbolento e uniforme.

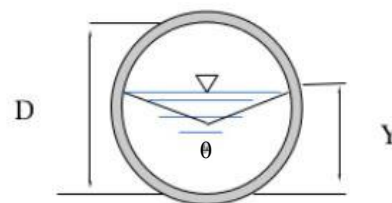
Tenendo conto dell'ultima condizione si può utilizzare l'equazione di Gaukler-Strickler per poter valutare la portata massima:

$$Q_{Max} = \Omega_i * K_s * R_i^{2/3} * i_f^{1/2}$$

Dove:

- $\Omega_i$  = Sezione bagnata della tubazione;
- $K_s$  = Coefficiente di Gaukler-Strickler dovuto alla scabrezza della tubazione;
- $R_i$  = Raggio idraulico;
- $i_f$  = pendenza della tubazione;

Ricordando che la sezione della tubazione non è ancora conosciuta in quanto non è stato ancora definito il diametro del tubo, è possibile calcolare alcuni parametri della condotta a sezione circolare in corso di dimensionamento:



Il grado di riempimento

$$G = \frac{Y}{D} = \frac{\frac{D}{2} + \frac{D}{2} * \cos\left(\pi - \frac{\theta}{2}\right)}{D} = \left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right)$$

La sezione bagnata

$$\Omega = \frac{D^2}{4} * \frac{\theta - \sin \theta}{2}$$

Perimetro bagnato:

$$P = \frac{\theta * D}{2}$$

Definendo il Raggio idraulico come:

$$R_i = \frac{\Omega}{P} = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)$$

Si fissa il grado di riempimento (G) a priori pari a 0,8 per consentire il deflusso a gravità, si inseriscono le pendenze secondo l'andamento del piano campagna e si mettono a sistema le equazioni delle portate massime:

$$\begin{cases} Q_{Max} = u * A_{tot} \\ Q_{Max} = \Omega_i * K_s * R_i^{2/3} * i_f^{1/2} \end{cases}$$

Dal sistema si otterrà una stima del diametro perché deriva da un valore approssimato del coefficiente udometrico ottenuto trascurando il volume di invaso nel tubo.

A questo punto si rivaluta il coefficiente udometrico con il diametro stimato, si ripete la procedura finché non si ottiene una stima dei diametri tale per cui:

$$|D_{(i-1)} - D_{(i)}| < 1 \text{ cm}$$

Ovviamente il diametro così ottenuto non corrisponde ad un diametro commerciale e si procederà imponendo, pertanto, l'uso di un tubo commerciale di diametro immediatamente superiore; si rivaluterà il grado di riempimento che, di conseguenza, risulterà inferiore a quello fissato.

Per la valutazione delle aree "di fondo" di tipo A3 bisogna considerare i volumi a monte generati da A2 ed A1 che andranno a sommarsi a quelli generati dall'area A3 ( $W_{tot}$ ).

Il volume invasato  $W_M$  dal sistema bacino-rete, a monte della sezione da dimensionare, risulta quindi (compreso anche il volume del collettore in progetto):

$$W_M = w_0 * A + \sum_i W_i + W_l$$

La sommatoria è estesa a tutti i collettori  $i$  (già dimensionati) a monte del collettore  $l$  da dimensionare.

$w_0$  = volume specifico (ovvero per unità di superficie) dei piccoli invasi e del velo idrico superficiale. Per aree mediamente urbanizzate ( $0.6 < \phi < 0.9$ ):  $w_0 \approx 10 \div 40$  [m<sup>3</sup>/ha] a seconda del minore o maggiore sviluppo delle reti di drenaggio secondarie (pozzetti, cunette, caditoie, etc.)

$W_i = L_i \cdot \Omega_i$  = volume invasato nel collettore i-esimo ( $L_i$  è la lunghezza del collettore,  $\Omega_i$  l'area bagnata quando vi defluisce la portata di progetto  $Q_{Mi}$  già calcolata per il collettore i)

$W_I = L_I \cdot \Omega_I$  = volume invasato nel collettore I in progetto; da determinare per iterazioni successive ( $L_I$  è la lunghezza nota del collettore in progetto,  $\Omega_I$  l'area bagnata incognita, da determinare per tentativi.

Il modello permette di evitare l'analisi delle aree se, come in questo caso, non sono presenti degli afflussi esterni ma esclusivamente interni. Ottenendo i seguenti risultati:

| Tracciato [-] | Collettore/ Tratto [-]   | AREA [m <sup>2</sup> ] | LUNGHEZZA [m] | PENDENZA [%] | h/D [%] | DN [mm] | velocità [m/S] |
|---------------|--------------------------|------------------------|---------------|--------------|---------|---------|----------------|
| 1             | Attraversamento          | 0.00                   | 18.25         | 0.5          | 17%     | 315     | 0.44           |
| 2             | <u>Tube di drenaggio</u> | 0.00                   | 23.40         | 0.5          | 19%     | 315     | 0.54           |
| 3             | <u>Tube di uscita</u>    | 0.00                   | 18.45         | 0.5          | 20%     | 315     | 0.61           |

| Tracciato [-] | Collettore/ Tratto [-]   | Volumi di monte [mc] | V totali gestiti [mc] | Sezione idraulica [mq] | Portata [mc/s] |
|---------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| 1             | Attraversamento          | 8.96                 | 8.96                  | 0.007946967            | 0.004          |
| 2             | <u>Tube di drenaggio</u> | 8.96                 | 10.30                 | 0.008629051            | 0.004          |
| 3             | <u>Tube di uscita</u>    | 19.26                | 12.21                 | 0.010037323            | 0.005          |

Utilizzando come tempo critico il tempo di picco di riempimento del dreno.

Le portate risultano estremamente inferiori rispetto a quelle entranti, a causa del fatto che l'intero sistema garantisce un funzionamento a laminazione delle portate entranti.

Data la riduzione di portata data la laminazione si è ipotizzato di massimizzare tale portata in uscita per le verifiche in moto permanente dell'alveo usando una portata di progetto pari alla portata massima generata in moto uniforme dal tubo in uscita con un grado di riempimento pari al 70% ottenendo con i seguenti parametri una portata di 0.059 [mc/s] molto maggiore di quella ottenuta.

| <b>dislivello</b>                          | <b>Lunghezza</b> | <b>Pendenza</b> |              |              |
|--|------------------|-----------------|--------------|--------------|
| <b>q<sub>max</sub>-q<sub>min</sub>=[m]</b> | <b>L=[m]</b>     | <b>i=[m/m]</b>  | <b>i=[%]</b> | <b>i=[‰]</b> |
| 0.009                                      | 18.45            | 0.005           | 0.5          | 5            |

| <b>Diametro esterno</b>     | <b>Diametro Interno</b>     | <b>Scabrezza</b>              | <b>Percentuale di riempimento</b> | <b>Portata</b>  |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| <b>D<sub>est</sub>=[mm]</b> | <b>D<sub>int</sub>=[mm]</b> | <b>Ks=[m<sup>1/3</sup>/s]</b> | <b>Y/D=[%]</b>                    | <b>Q=[mc/s]</b> |
| 315                         | 299.6                       | 80                            | 70%                               | 0.059           |

La scelta di utilizzare sistemi che da verifica risultano sovradimensionati è data dall'aleatorietà dei dati di partenza, non direttamente legati agli eventi atmosferici, per via degli ammassi eterogenei (suolo, ammasso granulare della galleria) che filtrano l'acqua piovana, così da mantenere un livello di sicurezza adeguato alla tipologia d'intervento.