



Comune di Trani

Regione Puglia



OPERE DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA (MISE) DEI LOTTI I, II, III DISCARICA PER RSU SITA IN TRANI E DENOMINATA "PURO VECCHIO"

CIG: 7060424E30

PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE:

AZIENDA MUNICIPALIZZATA IGIENE URBANA
Comune di Trani
Via Barletta, 161 - Trani
P.IVA 05487980723



PROGETTO:

Studio Romanazzi-Boscia e Associati s.r.l.
via Amendola 172/c. 70100 Bari - tel.: 080.548.21.87 - Fax: 080.548.22.67
Prof. Ing. Eligio ROMANAZZI
Dott. Ing. Giovanni F. BOSCIA
Dott. Ing. Sebanino GIOTTA
Dott. Ing. Fabio PACCAPELO



Ing. Federico Cangialosi

Ing. Gianluca Intini

Dott. geol. Vito Specchio

Ing. Vincenzo Catalucci



Vito Specchio

ALLEGATO

R.4

R - ELABORATI DESCRITTIVI

RELAZIONE CALCOLI IDRAULICI

SCALA:

...

DATA: GIUGNO 2018

| AGGIORNAMENTO | DATA | DESCRIZIONE |
|---------------|------|-------------|
| | | |
| | | |
| | | |

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | STUDIO IDROLOGICO | 4 |
| 2.1 | INDAGINE SUL REGIME DELLE PIOGGE..... | 4 |
| 2.2 | COEFFICIENTI DI AFFLUSSO | 8 |
| 2.3 | SCelta DELLA FREQUENZA DELLE PIOGGE CRITICHE | 9 |
| 3 | RETE DI DRENAGGIO | 10 |
| 3.1 | CONFIGURAZIONE INTERVENTI DI REGIMAZIONE | 10 |
| 3.2 | DIMENSIONAMENTO DELLA RETE..... | 10 |
| 3.2.1 | <i>Calcoli idraulici per la rete a pelo libero</i> | 11 |
| 3.2.2 | <i>Calcoli idraulici per le aree sottoposte al piano campagna</i> | 15 |
| 3.2.2.1 | Bacino sub-pianeggiante. Sommità del III lotto | 16 |
| 3.2.2.2 | Bacini a fortissima pendenza ed estensione limitata. Scarpate dei lotti I, II e III | 20 |
| 3.3 | TRATTAMENTO E SMALTIMENTO ACQUE..... | 21 |
| 3.3.1 | <i>Trattamento delle acque meteoriche</i> | 21 |
| 3.3.2 | <i>Dimensionamento del sistema di smaltimento negli strati superficiali del suolo</i> | 23 |
| 3.3.3 | <i>Verifica del sistema di smaltimento</i> | 24 |
| 3.3.4 | <i>Connessione tra manufatto di trattamento e sistema di smaltimento</i> | 25 |
| 4 | IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO ACQUE METEORICHE | 26 |
| 4.1 | DEFINIZIONE DELLE PERDITE DI CARICO..... | 26 |
| 4.1.1 | <i>Perdite di carico distribuite nelle correnti in pressione</i> | 26 |
| 4.1.2 | <i>Perdite di carico localizzate</i> | 27 |
| 4.2 | IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO ACQUE SOMMITALI III LOTTO..... | 28 |
| 4.3 | IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO ACQUE FONDO CAVA..... | 30 |
| 5 | ALLEGATI | 32 |
| 5.1 | DATI PLUVIOMETRICI DELLA STAZIONE DI ANDRIA | 32 |
| 5.2 | PIOGGE INFERIORI ALL'ORA: DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE..... | 33 |
| 5.3 | ELABORAZIONE DATI PLUVIOMETRICI - STAZIONE DI ANDRIA (5MIN – 1H)..... | 35 |
| 5.4 | ELABORAZIONE DATI PLUVIOMETRICI - STAZIONE DI ANDRIA (1H – 24H) | 37 |
| 5.5 | PROGETTO E VERIFICA DEL BACINO DI LAMINAZIONE E DISPERSIONE..... | 39 |
| 5.6 | TABULATI DI PROGETTO RETE DI DRENAGGIO: CAPPING PROVVISORIO..... | 40 |

1 PREMESSA

La corretta regimazione e smaltimento delle acque meteoriche risulta essere un obiettivo principale da raggiungere per ottimizzare la gestione del percolato di discarica (riducendone drasticamente la produzione).

La configurazione progettuale individuata prevede di realizzare una rete di drenaggio così costituita:

- Aree sub pianeggianti dei lotti I e II. Mediante un'apposita riconfigurazione del piano, sono state definite le pendenze che convogliano le acque meteoriche verso l'esterno della discarica (in direzione Nord-Ovest).
- In corrispondenza di tale lato della discarica, verrà posto un canale prefabbricato per la raccolta delle acque di ruscellamento. Tale canale convoglierà le acque in un apposito manufatto di trattamento delle acque di prima pioggia.
- Area sub pianeggiante del lotto III. A seguito degli interventi di rimozione di percolato e biogas, attuati sul III lotto, la sommità del cumulo dei rifiuti abbancati ha subito deformazioni formando un punto basso in corrispondenza della parete nord del lotto III.
- La proposta progettuale prevede la riconfigurazione della sommità del III lotto in modo da convogliare tutte le acque nel punto basso, formando un'area di accumulo. Il volume immagazzinato sarà eliminato mediante un sistema di sollevamento dotato di apposite elettropompe.
- Scarpate sud del I e II lotto. Le acque precipitate sulle scarpate del I e II lotto e quelle precipitate sulla rampa di accesso al fondo cava, verranno raccolte in vasche di capacità complessiva di 13.500 mc. In particolare sono previste tre vasche (di cui una già realizzata), ciascuna della quale dotata di un sistema di sollevamento delle acque meteoriche.
- Scarpata sud del III lotto. Le acque precipitate sulla scarpata sud del III lotto verranno convogliate, a mezzo di apposita canaletta, in una delle tre vasche di cui al punto precedente.
- Trattamento delle acque di pioggia. In accordo al Progetto Definitivo, è previsto un trattamento (grigliatura e sedimentazione) delle acque meteoriche, in grado di garantire il rispetto dei parametri previsti dalla vigente normativa. Tale trattamento verrà realizzato in una vasca in c.a. all'interno della quale, mediante setti in c.a., si configurano:
 - o Pozzetto di arrivo delle acque raccolte dalla sommità dei lotti I e II;
 - o Comparto di grigliatura con griglia verticale a pulizia manuale e, a monte, zona di accumulo del materiale grigliato;
 - o Pozzetto di arrivo e di calma delle acque sollevate dagli impianti a servizio del III lotto e delle tre vasche poste a fondo cava;
 - o Comparto di dissabbiatura costituito da setti che costringono le acque ad un percorso tale da farle rallentare e, quindi, depositare le sostanze solide sedimentabili. La configurazione dei setti permetterà anche una blanda disoleatura;
 - o Pozzetto di campionamento
- Smaltimento delle acque di pioggia. È stato previsto un sistema di dispersione delle acque meteoriche sul suolo. Le acque verranno versate in una depressione realizzata mediante:
 - o Spianto degli alberi presenti e procedure per il futuro reimpianto
 - o Scavo dell'area
 - o Realizzazione di un drenaggio eseguito con pietrame grossolano derivante dalle attività di scavo;

Al fine di migliorare le caratteristiche disperdenti del sistema di smaltimento, sono stati previsti dei pozzi disperdenti all'interno della stessa depressione.

Nella presente relazione vengono affrontati gli aspetti relativi al dimensionamento / verifica di tutte le opere relative alla gestione delle acque meteoriche precipitate e raccolte nella discarica RSU "Puro Vecchio".

2 STUDIO IDROLOGICO

Lo scopo dello studio idrologico è di pervenire alla valutazione delle principali grandezze idrologiche che intervengono nei calcoli di dimensionamento e della rete di fognatura pluviale di progetto.

Lo studio è così articolato:

- Indagine sul regime delle piogge ed elaborazione dei dati pluviometrici occorrenti per le verifiche idrauliche;
- Determinazione dei coefficienti di afflusso e delimitazione dei bacini principali e sottobacini;
- Scelta della frequenza delle piogge critiche

2.1 INDAGINE SUL REGIME DELLE PIOGGE

Per i dati pluviometrici si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di **Andria** (coordinate 41° 13' 13,71"N; 16° 17' 39,24"E) che presenta una serie cronologica di dati (v. allegato in appendice) sufficientemente ampia.

Il dato fondamentale da cui partire nell'elaborazione statistica è costituito dall'altezza delle precipitazioni riferite ad un intervallo di tempo, da scegliere in funzione dell'ampiezza dell'area interessata e delle sue caratteristiche di impermeabilità.

Infatti, la durata della pioggia più pericolosa cresce all'aumentare della superficie ed al diminuire del coefficiente di afflusso.

Le reti di fognatura pluviale, che come quella di progetto interessano una superficie molto piccola con valori relativamente bassi del coefficiente di afflusso, presentano tempi di corrivazione molto inferiori alle 24 ore. Pertanto, si sono presi in considerazione i dati relativi alle piogge di minore durata, precisamente le "precipitazioni di notevole intensità e breve durata" ed i massimi annuali delle "precipitazioni orarie di durata 1÷24 ore".

Le "precipitazioni di notevole intensità e breve durata" sono però riportate negli annali per una durata variabile e, per taluni anni, non è riportato alcun valore (1971, 1978, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1992 e 2006).

La non omogeneità dei dati e la mancanza di taluni altri renderebbe impossibile definire delle curve di possibilità pluviometrica in quanto i dati non risulterebbero utilizzabili.

Al fine di ottenere dati omogenei (altezze di pioggia riferite allo stesso tempo di pioggia e quindi confrontabili), i valori di altezza di pioggia sono stati rapportati alla durata di 5, 10, 15 e 30 minuti, con il criterio delle "altezze ragguagliate".

Supponendo l'intensità di pioggia costante per tutta la durata t_p della pioggia stessa (con t_p sempre minore di 60 min), l'altezza di pioggia h_t , relativa alla durata generica t , si ricava dalla relazione:

$$h_t = h_{t_p} \times \frac{t}{t_p}$$

per durate $t > t_p$ si assumerà l'altezza h_t , se questa risulta maggiore di quella ragguagliata alla pioggia di durata $t > t_p$.

Il metodo adottato si basa sull'ipotesi che durante il tempo di pioggia misurato e riportato negli annali ($t_p < 1$ ora), l'intensità di pioggia sia stata costante per tutto t_p . Basandosi su dati realmente misurati, l'attendibilità

delle curve che ne derivano sarà tanto più elevata quanto il tempo di pioggia misurato si approssimi al tempo di riferimento.

Inoltre, al fine di utilizzare un campione più ampio possibile, laddove non sono stati riportati dati di piogge di massima intensità e breve durata, i valori di h per t 5, 10, 15 e 30 min sono stati desunti dalla formula di Bell che, partendo dalla misurazione dell'altezza di pioggia a 1 ora (h_{60}), consente di calcolare l'altezza di pioggia di durata inferiore ai 60 min mediante:

$$\frac{h_t}{h_{60}} = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50$$

Pertanto, al fine di ottenere delle curve che restituiscano valori cautelativi, dato un tempo di ritorno T , le curve di possibilità climatica sono state desunte partendo dal massimo dei valori tra quello ricavato con le altezze ragguagliate e quello ricavato con la formula di Bell.

Nell'allegato in appendice sono riportati i valori massimi appena descritti.

Per quanto riguarda le piogge di durata t superiore a 60 minuti si è fatto riferimento direttamente ai valori misurati e riportati negli annali.

I dati sono stati poi elaborati accettando l'ipotesi che i massimi h delle diverse durate siano interpretati dalla **distribuzione probabilistica di Gumbel**¹.

Con riferimento a tempi di ritorno di 1, 5, 10, 15, 30 e 50 anni si sono ricavati i valori corrispondenti a ciascuna durata, mediante la relazione:

$$h = u - \frac{1}{a} \times \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right]$$

essendo:

$$u = m(h) - \frac{0,5771}{a}$$

$$a = \frac{1,283}{s(h)}$$

$$m(h) = \sum_i \frac{h_i}{N}$$

$$s(h) = \sqrt{\sum_i \frac{[h_i - m(h)]^2}{N - 1}}$$

L'adattamento della legge di Gumbel a ciascuna serie statistica può essere valutato mediante test statistici per accertare o rifiutare l'ipotesi che la legge probabilistica ben si adatti al campione. A tal scopo, l'adattabilità dei dati di osservazione alla legge probabilistica del valore estremo **è stata poi provata attraverso il metodo del χ^2 di Pearson**².

¹ E.J.Gumbel: "Statistics of extremenes" - Columbia University Press, New York, 1967

² "Fognature" di Luigi Da Deppo e Claudio Datei, casa ed. Edizioni Libreria Cortina, Pavia, pag.28

Si suddivide il campione in k intervalli e si indica con N_i il numero delle osservazioni che ricadono nello stesso intervallo, compreso tra i valori X_{i-1} e X_i ; p_i è la probabilità che una osservazione qualsiasi ricada nell' i -esimo intervallo.

Il Test di Pearson considera la grandezza statistica:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k i \frac{(N_i - Np_i)}{Np_i}$$

che esprime il divario fra l'osservazione e la teoria, dove:

N_i rappresenta la frequenza dei valori empirici (ovvero il numero delle osservazioni che ricadono nello stesso intervallo)

Np_i rappresenta il numero dei valori della stessa grandezza che scaturiscono dall'ipotesi teorica di distribuzione.

La distribuzione di probabilità $p(X^2)$ dipende solo dal numero di gradi di libertà f imposto con l'equazione:

$$f = k - 1$$

Dove:

f = numero di gradi di libertà;

k = numero di intervalli (o classi) col quale è stato suddiviso il campione;

Per la suddivisione del campione il test di Pearson richiede che almeno 5 osservazioni ricadano mediamente nello stesso intervallo, ovvero:

$$Np_i > 5$$

Fissato un livello di significatività (comunemente pari a 0,05), al variare del numero dei gradi di libertà è definito il valore X^{02} :

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| X⁰² | 3,84 | 5,99 | 7,81 | 9,49 | 11,1 | 12,6 | 14,1 | 15,5 | 16,9 | 18,3 |

Confrontando il valore calcolato del X^2 con il valore tabellato di X^{02} si ritiene che l'ipotesi di buon adattamento della distribuzione della serie sia soddisfatto se

$$\chi^2 < \chi^{02}$$

Il test del χ^2 di Pearson mostra per la stazione pluviometrica di **Andria** una **buona adattabilità dei dati di osservazione alla legge di Gumbel**. Infatti, come riportato nei tabulati in allegato, il valori del χ^2 per le durate prescelte risulta sempre più basso del χ^{02} .

In particolare, data l'estensione del campione (44 dati utili), il numero degli intervalli risulta essere pari a 8, quindi il grado di libertà (f) sarà pari a 7 ($f=k-1=8-1$). A tale grado di libertà corrisponde un valore di **X⁰² pari a 14,1**. Di seguito si riporta un breve riepilogo dei parametri calcolati di X^2 per le piogge di forte intensità e breve durata:

| | | | | | |
|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Frequenza | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |
| X² | 6,55 | 4,73 | 2,91 | 8,73 | 1,45 |

Ed il riepilogo dei parametri calcolati di X^2 per le precipitazioni orarie di durata 1÷24 ore

| Frequenza | 1 ora | 3 ore | 6 ore | 12 ore | 24 ore |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|
| X^2 | 1,48 | 14,18 | 12,73 | 3,27 | 10,55 |

Per ciascun tempo di ritorno la determinazione del legame funzionale fra le altezze di pioggia h e le durate T si ottiene adottando un'espressione monomia del tipo:

$$h = a \times t^n$$

che nel piano logaritmico si trasforma nella retta di equazione:

$$\log(h) = \log(a) + n \times \log(t)$$

La regolarizzazione dei dati compresi in ciascun intervallo è stata infine ottenuta con il metodo dei minimi quadrati risolvendo il sistema:

$$\begin{aligned} n \sum (\log(t))^2 + \log(a) \times \sum (\log(t)) &= \sum (\log(t) \times \log(h)) \\ n \sum (\log(t)) + m \times \log(a) &= \sum (\log(h)) \end{aligned}$$

dove m è il numero delle durate prese in esame ed a e n sono rispettivamente il coefficiente e l'esponente delle curve di possibilità pluviometrica.

In tal modo si sono ottenuti i parametri a ed n riferiti alle durate 5min-1h e 1h-24h che hanno mostrato valori caratteristici di un regime tipicamente mediterraneo, simili a quelle riscontrate per territori limitrofi.

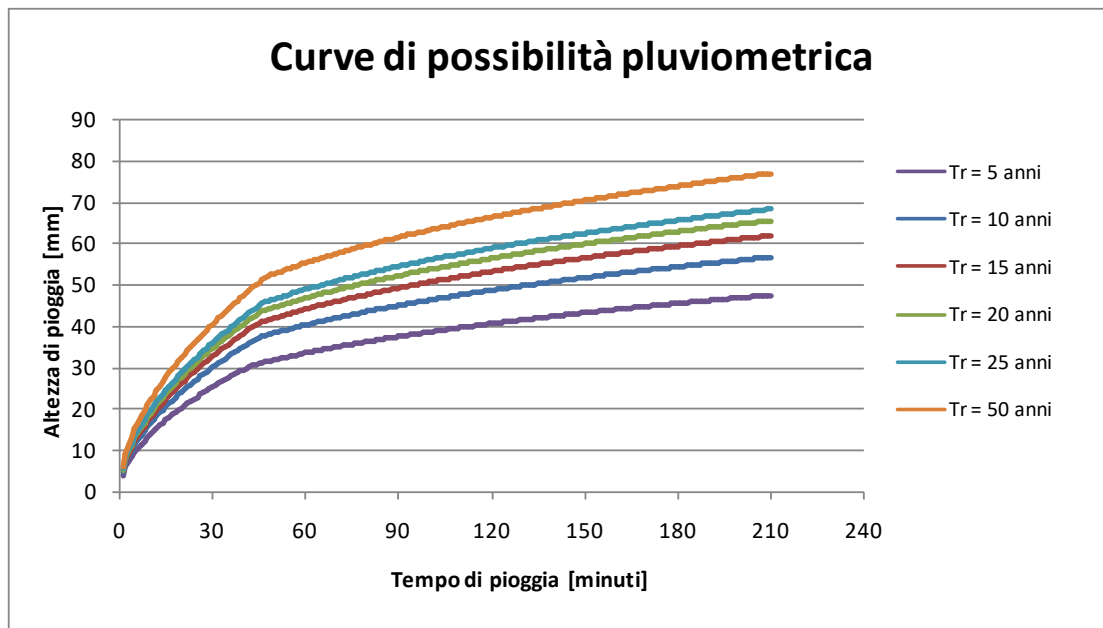
Di seguito si riportano i valori di a ed n riferiti alle durate 5min-1h:

| | | | | | |
|------|---------|-----|-------|-----|-------|
| Tr = | 5 anni | a = | 36,77 | n = | 0,539 |
| Tr = | 10 anni | a = | 43,77 | n = | 0,543 |
| Tr = | 15 anni | a = | 47,72 | n = | 0,545 |
| Tr = | 20 anni | a = | 50,49 | n = | 0,546 |
| Tr = | 30 anni | a = | 52,62 | n = | 0,546 |
| Tr = | 50 anni | a = | 59,18 | n = | 0,548 |

Di seguito si riportano i valori di a ed n riferiti alle durate 1h-24h:

| | | | | | |
|------|---------|-----|-------|-----|-------|
| Tr = | 5 anni | a = | 33,52 | n = | 0,278 |
| Tr = | 10 anni | a = | 40,31 | n = | 0,272 |
| Tr = | 15 anni | a = | 44,14 | n = | 0,270 |
| Tr = | 20 anni | a = | 46,82 | n = | 0,268 |
| Tr = | 30 anni | a = | 48,88 | n = | 0,267 |
| Tr = | 50 anni | a = | 55,25 | n = | 0,264 |

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica delle curve di possibilità climatica individuate



2.2 COEFFICIENTI DI AFFLUSSO

Il coefficiente di afflusso in fognatura è stato determinato tenendo conto dei valori reperibili in letteratura³

| Tipi di superficie | ϕ |
|---|--------------------|
| Tetti metallici | 0,95 |
| Tetti a tegole | 0,90 |
| Tetti piani con rivestimento in calcestruzzo | 0,70 – 0,80 |
| Tetti piani ricoperti di terra | 0,30 – 0,40 |
| <i>Pavimentazioni asfaltate</i> | <i>0,85 – 0,90</i> |
| Pavimentazioni in pietra | 0,80 – 0,85 |
| Massicciata in strade ordinarie | 0,40 – 0,80 |
| Strade in terra | 0,40 – 0,60 |
| Zone con ghiaia non compressa | 0,15 – 0,25 |
| Giardini | 0,00 – 0,25 |
| Boschi | 0,10 – 0,30 |
| Parti centrali di città completamente edificate | 0,70 – 0,90 |
| Quartieri con pochi spazi liberi | 0,50 – 0,70 |
| Quartieri con fabbricati radi | 0,25 – 0,50 |
| Tratti scoperti | 0,10 – 0,30 |
| Giardini e cimiteri | 0,05 – 0,25 |
| Terreni coltivati | 0,20 – 0,60 |

Nel caso in esame, si è utilizzato un **coefficiente medio di afflusso di 0,85**.

³ "Fognature" di Luigi Da Deppo e Claudio Datei, casa ed. Edizioni Libreria Cortina, Padova, tab. 5.1 a pag. 85

Considerando la quasi completa impermeabilizzazione dell'area in esame, si è ritenuto che il coefficiente di afflusso abbia, sin dai primi istanti di pioggia, il massimo valore, indipendentemente dall'altezza di pioggia.

2.3 SCELTA DELLA FREQUENZA DELLE PIOGGE CRITICHE

Elaborate le curve o le equazioni di possibilità pluviometrica, caratterizzate da valori costanti di frequenza e quindi di probabilità, occorre scegliere la frequenza adatta al tipo di opere da progettare.

A tal proposito il Regolamento Regionale 9 dicembre 2013, n. 26 (pubblicato sul BURP n.166 del 17.12.2013) prevede che le reti siano dimensionate per "*un tempo di ritorno non inferiore ai 5 (cinque) anni*".

Al fine di garantire lo smaltimento delle acque meteoriche in qualsiasi condizione, la verifica del recapito finale è stata effettuata con differenti tempi di ritorno (da 5 a 200 anni).

3 RETE DI DRENAGGIO

3.1 CONFIGURAZIONE INTERVENTI DI REGIMAZIONE

In funzione della fase di post gestione della discarica "Puro Vecchio", sono state individuate n.2 configurazioni dell'intero sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

In particolare in fase di capping provvisorio il sistema di drenaggio delle acque meteoriche prevede:

1. riconfigurazione morfologica del piano sub-orizzontale dei lotti I e II (lavori già eseguiti) mediante:
 - la posa di materiale inerte sull'attuale piano che determini una pendenza verso l'esterno della cava;
 - il completamento della posa di una geomembrana in HDPE
2. posa di un canale prefabbricato in c.a. per la raccolta delle acque di ruscellamento derivanti dalla riconfigurazione morfologica di cui al punto precedente;
3. riconfigurazione morfologica del piano sub-orizzontale del lotto III mediante:
 - la posa di materiale inerte sull'attuale piano che determini una pendenza verso il punto depresso esistente e che definisca, in tale punto, un volume di accumulo di circa 1.700 mc;
 - la posa, su tutto il piano riconfigurato, di uno strato drenante di h=50 cm per la captazione del biogas di discarica;
 - la posa di una geomembrana in HDPE;
 - l'installazione di un manufatto per il sollevamento delle acque meteoriche composto da tubazione fessurata in polietilene con elettropompa alloggiata al suo interno;
4. riconfigurazione del fondo cava in modo da realizzare le restanti vasche di accumulo;
5. installazione, in ciascuna vasca posta sul fondo della discarica di n.1 manufatto di sollevamento composto da tubazione fessurata in polietilene con elettropompa alloggiata al suo interno;
6. impermeabilizzazione della scarpata del III lotto mediante geomembrana in HDPE posta previa riconfigurazione delle scarpate e delle berme. In particolare le berme della scarpata del III lotto saranno sagomate in modo da convogliare le acque verso una delle vasche di accumulo;
7. realizzazione di un impianto di trattamento delle acque meteoriche che preveda grigliatura e dissabbiatura;
8. realizzazione di un idoneo sistema di smaltimento nei primi strati del sottosuolo delle acque trattate.

3.2 DIMENSIONAMENTO DELLA RETE

Il **dimensionamento della rete** di raccolta ed allontanamento delle acque meteoriche precipitate sulle superfici sub-orizzontali dei lotti di discarica e sulle scarpate interne della cava, è stato effettuato utilizzando le curve di possibilità climatica relative ad un **tempo di ritorno $T_r = 5$ anni** garantendo un franco minimo del 25%.

Note le curve di piogge caratteristiche per il tempo di ritorno di 5 anni, per il corretto dimensionamento della rete di drenaggio è necessario definire i bacini afferenti alla rete stessa.

Riguardo la definizione dei bacini afferenti, la normativa di riferimento è contenuta nel **Regolamento Regionale 9 dicembre 2013, n. 26**, pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia n. 166 del 17.12.2013, precisando comunque che tale regolamento non troverebbe puntuale applicazione nel caso di

specie in quanto le acque di dilavamento interessano superfici che, non essendo destinate al transito dei mezzi, sono assimilabili alle coperture degli edifici, tipologia chiaramente esclusa dalla citata norma. Ad ogni modo il Regolamento Regionale, all'art.3, comma 1, definisce:

"a. Acque meteoriche di dilavamento: le acque di pioggia che precipitano sull'intera superficie impermeabilizzata scolante afferente allo scarico o all'immissione;

b. Acque di prima pioggia: le prime acque meteoriche di dilavamento relative ad ogni evento meteorico preceduto da almeno 48 (quarantotto) ore di tempo asciutto, per una altezza di precipitazione uniformemente distribuita ... di 5 (cinque) mm per superfici scolanti aventi estensione, valutata al netto delle aree a verde e delle coperture non carrabili che non corrivano sulle superfici scolanti stesse, inferiore o uguale a 10.000 (diecimila) mq"

Considerando che, nelle condizioni peggiorative (capping provvisorio) si può considerare l'intera superficie impermeabilizzata, l'estensione dei bacini per la definizione delle acque di prima pioggia corrisponde con l'estensione dei bacini necessaria a dimensionare l'intera rete.

In funzione della disposizione del sistema di captazione delle acque, e delle caratteristiche orografiche delle superfici sottese dalla rete stessa, l'intero bacino scolante è stato suddiviso in più sotto bacini.

3.2.1 Calcoli idraulici per la rete a pelo libero

Per i **calcoli idraulici** della rete di fognatura è stata utilizzata la formula di Chézy⁴:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i_f}$$

essendo:

Q la portata

A la sezione liquida

R il raggio idraulico

i_f la pendenza del fondo

χ il coefficiente di attrito

Per esprimere quest'ultimo si è stata utilizzata l'espressione di Bazin:

$$\chi = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$$

La definizione del coefficiente di scabrezza (γ) di Bazin è stata effettuata tenendo conto di valori di letteratura che, per condotte in calcestruzzo, riportano valori del coefficiente variabili tra 0.10 e 0.23 m^{1/2}. Si **assunto il valore di 0,23 per il coefficiente di scabrezza** γ , adatto a tubazioni in calcestruzzo armato.

Il progetto e la verifica della rete di progetto è stato effettuato utilizzando un modello matematico basato sul metodo dell'invaso⁵ che consente il dimensionamento e la verifica della rete in funzione dei diversi eventi meteorici.

Chiamando:

p la portata che affluisce nella rete nell'istante t;

⁴ "Fognature" di Luigi Da Deppo e Claudio Datei, casa ed. Edizioni Libreria Cortina

⁵ "Le reti idrauliche" di G. Supino, casa ed. Pàtron Editore, Bologna.

q la portata che ne defluisce nello stesso istante t;
V il volume d'acqua invasato nel tempo dt,
l'equazione di continuità può scriversi come

$$pdt = qdt + dV$$

Consideriamo ora l'equazione del moto dell'acqua

$$i_f - \frac{\delta Y}{\delta x} = \frac{U^2}{C^2 R} + \frac{\alpha}{2g} \frac{\delta U^2}{\delta x} + \frac{\beta}{g} \frac{\delta U}{\delta t}$$

Dove

- i_f pendenza del fondo
- Y altezza del livello idrico
- U velocità media nella sezione
- R raggio idraulico
- g accelerazione di gravità
- C coefficiente che rappresenta la scabrezza delle pareti
- α coeff. che tiene conto della differenza di velocità nei vari filetti idrici (cfr. *Le reti idrauliche* di G. Supino, pag. 319) pari a circa 1,11
- β coeff. che tiene conto della differenza di velocità nei vari filetti idrici (cfr. *Le reti idrauliche* di G. Supino, pag. 319) pari a circa 1,03

nell'ipotesi che il pelo libero si mantenga parallelo al fondo, il termine $\delta Y/\delta x$ è pari a zero ed i termini $\delta U^2/\delta x$ e $\delta U/\delta t$ sono trascurabili. Ne consegue quindi la proporzionalità tra il volume d'acqua V e la sezione bagnata Ω , ovvero:

$$V = \mu' \Omega$$

μ' si determina osservando che quando il canale (o la condotta) è pieno l'acqua occuperà completamente il volume disponibile V_0 e la sezione totale Ω_0 . Si avrà quindi che $\mu' = V_0/\Omega_0$. Quindi

$$V = \frac{V_0}{\Omega_0} \Omega$$

Ma l'area bagnata e la portata che defluisce dal tratto in esame dipendono entrambe dall'altezza d'acqua Y, quindi si può desumere che la portata q dipenda dalla sezione bagnata

$$q = q(\Omega)$$

Rappresentabile, con buona approssimazione per mezzo di

$$q = \mu \Omega^\alpha$$

Con μ ed α costanti e dipendenti dalla forma del canale (per condotte di fognatura α è pari ad 1). Considerando la sezione piena $\mu = Q/\Omega_0$ si ha che

$$q = \frac{Q}{\Omega_0^\alpha} \Omega^\alpha$$

Quindi l'equazione di continuità può scriversi come

$$pdt = qdt + dV = qdt + \frac{V_0}{\Omega_0} d\Omega = qdt + \frac{V_0}{\alpha Q^{\frac{1}{\alpha}}} q^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} dq$$

Posto $z = q/p$ segue

$$dt = \frac{V p^{\frac{1}{\alpha}} z^{\frac{1}{\alpha}}}{\alpha Q^{\frac{1}{\alpha}} (1-z)} dz$$

Supponendo che, per una data pioggia, la portata p che affluisce nella rete sia costante nel tempo e imponendo il seguente raggruppamento di valori

$$G = \frac{V}{\alpha Q^{\frac{1}{\alpha}} p^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}}$$

L'equazione di continuità si riduce a

$$dt = G \frac{z^{\frac{1}{\alpha}}}{1-z} dz$$

Integrando, in un intervallo tra t_1 e t_2 si ha

$$t_2 - t_1 = G \int_{z_1}^{z_2} \frac{z^{\frac{1}{\alpha}}}{1-z} dz$$

Dove a z_1 e z_2 corrispondono le portate defluenti q_1 e q_2 ($q_1 > q_2$). Nell'ipotesi di condotta circolare, come detto il fattore α assume il valore 1, quindi la formula precedente assume la forma

$$t_2 - t_1 = \frac{V_0}{Q} \left(\ln \frac{1}{1-z_2} - \ln \frac{1}{1-z_1} \right)$$

Oppure, essendo $z_1 = q_1/p$ e $z_2 = q_2/p$ (ricordando che è stata ipotizzata p costante)

$$t_2 - t_1 = \frac{V_0}{Q} \ln \frac{p - q_1}{p - q_2}$$

Se il canale è inizialmente vuoto (ovvero $t_1=0$, $q_1=0$) il tempo T_R (tempo di riempimento) necessario perché il tratto si riempia (quindi che $q_2=Q$) è dato dalla formula:

$$T_R = \frac{V_0}{Q} \ln \frac{p}{p - Q}$$

Considerando ora il termine $Z = Q/p$ (dove Q è la portata di colmo che può transitare nel tronco in esame la quale dipende dalle caratteristiche della condotta, e p è la portata meteorica che affluisce al tronco in esame e che dipende esclusivamente dalla curva di possibilità pluviometrica e dalle caratteristiche del bacino scolante), il tempo di riempimento T_R diviene:

$$T_R = \frac{V_0}{Q} \ln \frac{1}{1-Z}$$

Nell'ipotesi che la rete possa funzionare, per taluni tratti, sotto carico, il tronco ricevente entrerebbe in pressione prima della fine della pioggia ($t < t_p$) rendendo impossibile la definizione del tempo di riempimento del singolo tronco. Occorre dunque procedere per tentativi supponendo che nei tronchi affluenti sia invasato un certo volume V_1 e, in base a questo calcolare il tempo di riempimento del ricevente. Successivamente bisogna verificare se, dopo il tempo appena calcolato, il volume invasato della rete sia effettivamente V_1 e, se necessario iterare il calcolo sino alla definizione del V corretto.

Al fine di risolvere la determinazione del volume invasato nel tronco, piuttosto che risolvere il sistema in modo iterativo partendo, magari da valori definiti con formule empiriche, il modello di calcolo utilizzato utilizza la formula precedente ponendo in evidenza il volume.

$$V_0 = \frac{T_r Q}{\ln\left(\frac{1}{1-Z}\right)}$$

Che, per il tempo di pioggia t_p , da il volume di invaso V

$$V = \frac{t_p Q}{\ln\left(\frac{1}{1-Z}\right)}$$

Ovvero

$$V = \frac{t_p \cdot Q}{\ln(\Sigma/\Sigma - 1)}$$

Dove V è il volume di invaso dato dalla somma dei seguenti componenti:

- *volume invasato nella rete a monte del tronco in esame.*
- *volume invasato nel tronco stesso*
- *volume degli invasi superficiali e del velo idrico.* Considerando che il capping provvisorio non presenti avvallamenti che possano determinare degli invasi superficiali, tale ultimo valore è dato esclusivamente dal volume del velo idrico. Ipotizzando un velo idrico omogeneo di soli 0,5 mm, il volume invasato dal velo idrico (e quindi il volume degli invasi superficiali e del velo idrico) è stato considerato pari a **5 mc/ettaro**.

e Σ è pari a $1/Z$, ovvero:

$$\Sigma = \varphi \cdot a \cdot t_p^{n-1} \cdot \frac{A}{Q}$$

Dove:

- φ il coefficiente di afflusso ottenuto come media ponderale dei coefficienti di afflusso relativi ai singoli bacini parziali sottesi dai tronchi a monte;
- a, n parametri della curva di possibilità climatica (relativa al tempo di ritorno di progetto)
- $a \cdot t_p^{n-1}$ intensità di pioggia (mm/sec)
- Q la portata che defluisce dal tronco (in mc/sec);
- A l'area totale, somma dell'area propria del tronco e di quella relativa ai bacini sottesi dai tronchi di monte (l'estensione del bacino è misurata in ettari)

Per un dato tronco (caratterizzato da una superficie scolante) e per date curve di possibilità climatica, il volume di invaso è funzione del tempo di pioggia, quindi:

$$V = V(t_p) \quad (1)$$

consente di calcolare il volume d'invaso V in funzione della durata t_p della pioggia, per cui il massimo volume d'invaso lo si ottiene derivando la precedente rispetto al tempo e risolvendo l'equazione:

$$\frac{dV(t_p)}{dt} = 0 \quad (2)$$

Il modello di calcolo utilizzato, in una prima fase, consente, con la risoluzione del sistema formato dalla (1) e (2), di determinare la sezione teorica che, con un determinato **franco** (che si è assunto **pari al 25%**), realizza un volume d'invaso uguale a quello massimo necessario. Il tutto con un ordine di approssimazione percentuale di qualche millesimo.

Nella seconda fase lo stesso modello esegue la verifica della rete con le sezioni di progetto utilizzata per i singoli tratti.

Al fine di massimizzare la sicurezza del funzionamento della rete, non si è tenuto conto del fatto che l'altezza di pioggia media diminuisce all'aumentare dell'area del bacino considerandola uniforme su tutto il bacino (non verranno quindi considerate le formule del Puppini).

Nelle tabelle in appendice si riportano i calcoli di progetto e verifica della rete pluviale secondo quanto detto nel precedente paragrafo.

Nel nostro caso, con un tempo di ritorno di 5 anni, corrispondono due curve pluviometriche valutate tenendo conto degli eventi meteorici di durata compresa tra i 5 minuti e 1 ora:

$$h = 36,77 \times t^{0,539}$$

E tenendo conto degli eventi contraddistinti da durate comprese tra 1 e 24 ore:

$$h = 33,52 \times t^{0,278}$$

3.2.2 Calcoli idraulici per le aree sottoposte al piano campagna

Considerando la posizione della sommità del III lotto e del fondo cava (interrati rispetto al piano campagna), e acque meteoriche dovranno essere sollevate per essere smaltite.

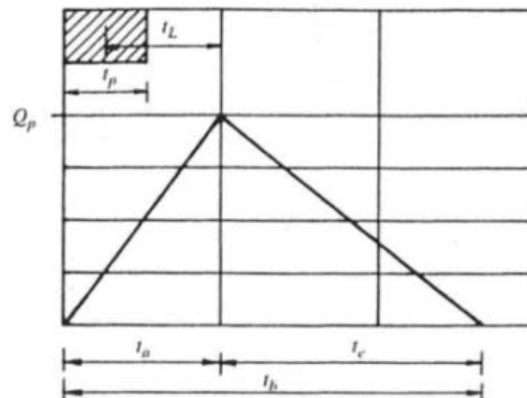
I bacini sottoposti possono essere distinti in:

- bacini sub-pianeggianti (ovvero il bacino dato dalla sommità del III lotto di discarica) con estensione limitata
- bacini a fortissima pendenza ed estensione limitata.

Se per la prima tipologia di bacino in letteratura vi sono metodologie sperimentate ed affidabili che definiscono, in base a delle curve di possibilità pluviometrica, adeguati valori di portata di picco (e, quindi di volume di pioggia), per la seconda tipologia non vi è nulla di sperimentato ed affidabile. Al fine di dimensionare, con adeguato franco di sicurezza, le opere necessarie alla regimazione e all'allontanamento delle acque meteoriche anche per i bacini a fortissima pendenza ed estensione limitata (scarpate interne alla cava), verranno utilizzati due distinti metodi descritti di seguito.

3.2.2.1 Bacino sub-pianeggiante. Sommità del III lotto

Per il calcolo della portata al colmo, si è utilizzata la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), con t_b durata dell'evento di piena.



Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5% del volume totale V di deflusso. Ne consegue che la durata della fase crescente (t_a) è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2,67t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata

$$Q_p = 0,208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

in cui:

V volume di deflusso espresso in mm;

A area del bacino espressa in Km^2 ;

t_a tempo di accumulo espresso in ore.

La definizione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione con intensità costante di durata t_p è data da

$$t_a = 0,5t_p + t_L$$

Dove t_L è il tempo di ritardo, pari alla distanza tra il baricentro dell'idrogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare.

Per la determinazione del tempo di ritardo t_L si è fatto riferimento alla formula di Mockus⁶.

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,80}}{s^{0,50}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,70}$$

Dove

s pendenza del bacino in %.

L lunghezza dell'asta principale espressa in Km.

⁶ "La sistemazione dei bacini idrografici" di Vito Ferro, casa ed. McGraw Hill

CN valore del Curve Number in funzione delle condizioni idrologiche dei suoli e dell'uso⁷. Per il caso in esame, trattandosi di geomembrane impermeabili si assume il valore massimo di CN=100

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che:

$$t_a = \frac{t_L}{0,90} \qquad t_p = \frac{t_L}{4,50}$$

| Bacino | A [mq] | CN | L [m] | Quota max [m slm] | Quota min [m slm] | s [%] | t _L [ore] | t _a [ore] | t _p [ore] |
|-----------|--------|-----|-------|-------------------|-------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| III lotto | 39800 | 100 | 175 | 46 | 42 | 2,29% | 0,193 | 0,214 | 0,043 |

Al fine di definire la portata di progetto (valutata con un tempo di ritorno 5 anni) è stata utilizzata la formula razionale

$$Q_p = \phi \frac{h}{t_c} \frac{A}{3600}$$

dove ϕ = coefficiente di afflusso (posto pari a 0,85)

A = superficie del bacino (mq)

t_c = tempo di corrivazione imposto pari al t_p

h = altezza di pioggia (m) valutata con le curve di pioggia a Tr=5 anni ricavate per eventi di forte intensità e breve durata (in quanto risulta un tempo di accumulo molto inferiore all'ora)

$$h = a \cdot t_p^n = 36,77 \cdot t_p^{0,539}$$

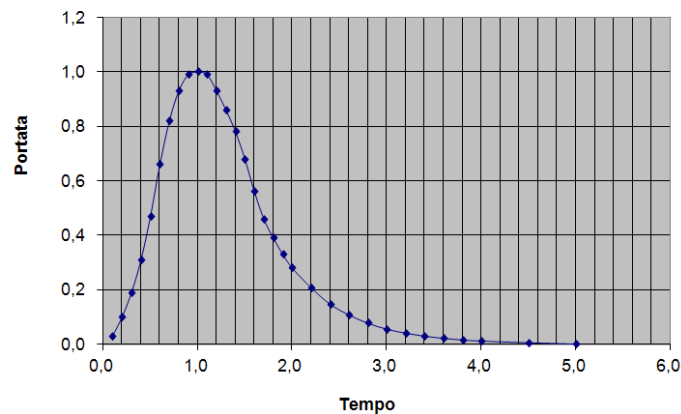
La portata di colmo Q_p sarà pari a:

| Bacino | A [mq] | t _p [ore] | ϕ | a | n | h [m] | Q _p [mc/sec] |
|-----------|--------|----------------------|--------|-------|-------|---------|-------------------------|
| III lotto | 39.800 | 0,043 | 0,85 | 36,77 | 0,539 | 0,00672 | 1,475 |

Per la valutazione del volume di piena sotteso dall'idrogramma a 5 anni si è utilizzato l'idrogramma unitario del SCS, relativo al volume di deflusso V pari a 1 mm, si costruisce a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus che è una curva adimensionale che mette in relazione il rapporto tra la generica portata Q all'istante t e la portata al colmo Q_p che si verifica all'istante t_a (durata della fase di crescita) con la variabile adimensionale t/t_a.

⁷ "La sistemazione dei bacini idrografici" di Vito Ferro, casa ed. McGraw Hill, pag. 198

Idrogramma di Mockus



Per definire il volume d'acqua che interessa la sezione di controllo per la durata dell'evento di piena e dunque per stabilire la capacità della vasca bisogna integrare l'idrogramma di piena ovvero definire l'area sottostante la curva dell'idrogramma, utilizzando il metodo alle differenze finite.

Di seguito si riporta la tabella di calcolo dei volumi discretizzando l'idrogramma unitario alle differenze finite.

| dt | Q | Q _{medie} | Volumi da invasare | Volumi progressivi |
|-------|-------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,021 | 0,044 | 0,022 | 1,705 | 1,705 |
| 0,043 | 0,147 | 0,096 | 7,387 | 9,091 |
| 0,064 | 0,280 | 0,214 | 16,478 | 25,569 |
| 0,086 | 0,457 | 0,369 | 28,410 | 53,980 |
| 0,107 | 0,693 | 0,575 | 44,320 | 98,300 |
| 0,128 | 0,973 | 0,833 | 64,208 | 162,508 |
| 0,150 | 1,209 | 1,091 | 84,095 | 246,603 |
| 0,171 | 1,372 | 1,291 | 99,437 | 346,039 |
| 0,193 | 1,460 | 1,416 | 109,096 | 455,135 |
| 0,214 | 1,475 | 1,468 | 113,074 | 568,209 |
| 0,235 | 1,460 | 1,468 | 113,074 | 681,282 |
| 0,257 | 1,372 | 1,416 | 109,096 | 790,378 |
| 0,278 | 1,268 | 1,320 | 101,709 | 892,088 |
| 0,300 | 1,150 | 1,209 | 93,186 | 985,274 |
| 0,321 | 1,003 | 1,077 | 82,958 | 1.068,233 |
| 0,342 | 0,826 | 0,914 | 70,458 | 1.138,690 |
| 0,364 | 0,678 | 0,752 | 57,957 | 1.196,648 |
| 0,385 | 0,575 | 0,627 | 48,298 | 1.244,945 |
| 0,407 | 0,487 | 0,531 | 40,911 | 1.285,857 |
| 0,428 | 0,413 | 0,450 | 34,661 | 1.320,517 |
| 0,471 | 0,305 | 0,359 | 55,344 | 1.375,861 |
| 0,514 | 0,217 | 0,261 | 40,229 | 1.416,090 |
| 0,556 | 0,158 | 0,187 | 28,865 | 1.444,955 |
| 0,599 | 0,114 | 0,136 | 20,910 | 1.465,865 |
| 0,642 | 0,081 | 0,097 | 15,001 | 1.480,866 |
| 0,685 | 0,059 | 0,070 | 10,796 | 1.491,662 |
| 0,728 | 0,043 | 0,051 | 7,841 | 1.499,503 |

| dt | Q | Q _{medie} | Volumi da invasare | Volumi progressivi |
|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,771 | 0,031 | 0,037 | 5,682 | 1.505,185 |
| 0,813 | 0,022 | 0,027 | 4,091 | 1.509,276 |
| 0,856 | 0,016 | 0,019 | 2,955 | 1.512,231 |
| 0,963 | 0,007 | 0,012 | 4,546 | 1.516,777 |
| 1,070 | 0,000 | 0,004 | 1,421 | 1.518,197 |

Da cui deriva un volume di pioggia con $T_r=5$ anni di circa **1.520 mc**.

Utilizzando la stessa metodologia per $T_r=200$ anni sono stati definiti i valori di portata di picco e di volume complessivo da sollevare.

| Bacino | A [mq] | t _p [ore] | φ | a | n | h [m] | Q _p [mc/sec] |
|-----------|--------|----------------------|------|-------|-------|---------|-------------------------|
| III lotto | 39.800 | 0,043 | 0,85 | 72,18 | 0,551 | 0,01272 | 2,792 |

| dt | Q | Q _{medie} | Volumi da invasare | Volumi progressivi |
|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,021 | 0,084 | 0,042 | 3,227 | 3,227 |
| 0,043 | 0,279 | 0,181 | 13,982 | 17,208 |
| 0,064 | 0,530 | 0,405 | 31,190 | 48,399 |
| 0,086 | 0,865 | 0,698 | 53,776 | 102,175 |
| 0,107 | 1,312 | 1,089 | 83,891 | 186,066 |
| 0,128 | 1,843 | 1,577 | 121,534 | 307,600 |
| 0,150 | 2,289 | 2,066 | 159,178 | 466,778 |
| 0,171 | 2,596 | 2,443 | 188,217 | 654,994 |
| 0,193 | 2,764 | 2,680 | 206,501 | 861,495 |
| 0,214 | 2,792 | 2,778 | 214,029 | 1075,524 |
| 0,235 | 2,764 | 2,778 | 214,029 | 1289,554 |
| 0,257 | 2,596 | 2,680 | 206,501 | 1496,054 |
| 0,278 | 2,401 | 2,499 | 192,519 | 1688,573 |
| 0,300 | 2,178 | 2,289 | 176,386 | 1864,959 |
| 0,321 | 1,898 | 2,038 | 157,027 | 2021,986 |
| 0,342 | 1,563 | 1,731 | 133,365 | 2155,351 |
| 0,364 | 1,284 | 1,424 | 109,703 | 2265,054 |
| 0,385 | 1,089 | 1,186 | 91,420 | 2356,474 |
| 0,407 | 0,921 | 1,005 | 77,438 | 2433,912 |
| 0,428 | 0,782 | 0,851 | 65,607 | 2499,519 |
| 0,471 | 0,578 | 0,680 | 104,756 | 2604,275 |
| 0,514 | 0,410 | 0,494 | 76,147 | 2680,422 |
| 0,556 | 0,299 | 0,355 | 54,637 | 2735,059 |
| 0,599 | 0,215 | 0,257 | 39,579 | 2774,638 |
| 0,642 | 0,154 | 0,184 | 28,394 | 2803,032 |
| 0,685 | 0,112 | 0,133 | 20,435 | 2823,467 |
| 0,728 | 0,081 | 0,096 | 14,842 | 2838,309 |
| 0,771 | 0,059 | 0,070 | 10,755 | 2849,064 |

| dt | Q | Q _{medie} | Volumi da invasare | Volumi progressivi |
|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,813 | 0,042 | 0,050 | 7,744 | 2856,808 |
| 0,856 | 0,031 | 0,036 | 5,593 | 2862,401 |
| 0,963 | 0,014 | 0,022 | 8,604 | 2871,005 |
| 1,070 | 0,000 | 0,007 | 2,689 | 2873,694 |

Al fine di contenere tali volumi, in corrispondenza dell'esistente depressione sulla copertura del III lotto, verrà formata un'area di accumulo di capacità utile pari a 2.900 mc. In tal modo, l'intero evento meteorico caratterizzato da $T_r=200$ anni sarà contenuto nel bacino di laminazione. Al termine della pioggia verrà attivato l'impianto di sollevamento che porterà tutte le acque meteoriche all'impianto di trattamento e, quindi, allo smaltimento finale. Di seguito l'impronta del bacino di accumulo nell'area depressa del terzo lotto.



3.2.2.2 Bacini a fortissima pendenza ed estensione limitata. Scarpate dei lotti I, II e III

Per tali tipologie di bacino, il volume complessivo da accumulare temporaneamente è stato valutato moltiplicando la superficie complessiva del bacino per il massimo valore registrato di pioggia caduta nelle 24 ore. In particolare risulta:

- La superficie complessiva (valutata come proiezione sul piano orizzontale) del bacino ammonta a circa 67.500 mq, di cui circa 42.000 mq relativi alle scarpate e la restante parte relativa alla superficie delle vasche ed a quelle ad esse afferenti
- L'altezza di precipitazione alle 24 ore più elevata ammonta a 118,4 mm, misurata il 17 settembre del 1970. Per le prossime valutazioni, tale altezza verrà approssimata a 120 mm.

Da tali valori si desume un volume di laminazione pari a:

$$V = S \times h = 67.530 \times 0,120 = 8.103,60 \approx 8.110 \text{ mc}$$

Considerando che il volume di accumulo utile delle tre vasche (ipotizzando il riempimento per 2 m) poste al fondo della cava è di oltre 18.000 mc (leggermente superiore a quanto previsto dal progetto definitivo), il sistema risulta verificato con un fattore di sicurezza superiore a 2, tale quindi da accogliere due eventi di massima intensità.

Un'analisi più approfondita è stata condotta per definire il funzionamento dei tre impianti di sollevamento.

In particolare è stato discretizzato l'intero bacino afferente alle vasche di fondo cava in base ai reali afflussi che alimentano ciascuna vasca. In particolare:

| Vasca | Bacini affluenti | Superficie bacini affluenti |
|----------------------|--|-----------------------------|
| Vasca fondo cava n.1 | Scarpata I Lotto, parte della scarpata del II lotto, rampa di discesa a fondo cava, scarpata ovest della cava e superficie vasca | 22.500 mq |
| Vasca fondo cava n.2 | Parte della scarpata del II lotto, scarpata ovest della cava e superficie vasca | 20.000 mq |
| Vasca fondo cava n.3 | Parte della scarpata del II lotto, scarpata ovest della cava e superficie vasca. Scarpata del III lotto | 25.000 mq |

I volumi minimi da accumulare in ciascuna vasca (considerando un'altezza media di 120 mm) saranno:

| Vasca | Superficie bacini affluenti | Volumi minimi da laminare |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Vasca fondo cava n.1 | 22.500 mq | 2.700 mc |
| Vasca fondo cava n.2 | 20.000 mq | 2.400 mc |
| Vasca fondo cava n.3 | 25.000 mq | 3.000 mc |

Ipotizzando di installare, in ciascuna vasca di accumulo temporaneo, un impianto di sollevamento composto da 1+1R pompa da 20 l/sec (72 mc/ora), ciascuna vasca si vuoterà rispettivamente in:

| Vasca | Volumi minimi da laminare | Tempo di svuotamento |
|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Vasca fondo cava n.1 | 2.700 mc | 38 ore |
| Vasca fondo cava n.2 | 2.400 mc | 33 ore |
| Vasca fondo cava n.3 | 3.000 mc | 42 ore |

3.3 TRATTAMENTO E SMALTIMENTO ACQUE

3.3.1 *Trattamento delle acque meteoriche*

In accordo al Progetto Definitivo autorizzato, è previsto un "trattamento blando (grigliatura e sedimentazione)" delle acque meteoriche.

Tale trattamento verrà realizzato in una vasca in c.a. all'interno della quale, mediante setti in c.a., si configurano:

- o Pozzetto di arrivo delle acque raccolte dalla sommità dei lotti I e II;
- o Comparto di grigliatura con griglia verticale a pulizia manuale e, a monte, zona di accumulo del materiale grigliato;
- o Pozzetto di arrivo e di calma delle acque sollevate dagli impianti a servizio del III lotto e delle tre vasche poste a fondo cava;
- o Comparto di dissabbiatura costituito da setti che costringono le acque ad un percorso tale da farle rallentare e, quindi, depositare le sostanze solide sedimentabili. La configurazione dei setti permetterà anche una blanda disoleatura;
- o Pozzetto di campionamento

In particolare le acque provenienti dalle canaline di raccolta delle acque di scorrimento superficiale dei lotti I e II raggiungeranno il **comparto di grigliatura** entro il quale è posta una griglia in acciaio zincato a caldo posta in posizione verticale. Tale griglia è posta su di un setto in calcestruzzo in modo da creare, a monte, un pozzetto per l'accumulo del materiale grigliato. In questo modo si raggiungeranno i seguenti obiettivi:

- facilità di pulizia della griglia con rimozione del materiale grigliato che sarà delimitato in un unico pozzetto;
- ottimizzazione del funzionamento del comparto di grigliatura. Infatti, la posizione della griglia permette di far precipitare il materiale grossolano in un pozzetto, mantenendo quindi, inalterato il grado di intasamento della griglia stessa.

Le acque grigliate raggiungeranno un **comparto di calma** entro il quale giungeranno le acque provenienti dagli impianti di sollevamento. Tali acque non necessitano di una grigliatura in quanto il materiale grossolano è stato trattenuto a monte delle elettropompe.

Tale comparto è configurato in modo che le acque sollevate possano rallentare e dissipare la loro energia grazie al "cuscinio d'acqua" che si viene a formare grazie a setti in calcestruzzo appositamente realizzati.

Tutte le acque (quelle provenienti dalla sommità dei lotti I e II e quelle sollevate dal III lotto e dal fondo cava) procederanno all'interno del **comparto di dissabbiatura**.

Tale comparto è definito da appositi setti in calcestruzzo che costringono le acque ad un percorso tale da farle rallentare e, quindi, depositare le sostanze solide sedimentabili. La configurazione dei setti permetterà anche una blanda disoleatura.

Tutte le acque terminano in un **pozzetto di campionamento** ricavato con un semplice abbassamento del fondo della vasca rispetto allo scorrimento della condotta in uscita.

Tutte le acque trattate saranno convogliate verso il bacino di laminazione/smaltimento a mezzo di una condotta interrata, sino al superamento dei tratti di viabilità interna. Da qui proseguiranno, sino al bacino di smaltimento, entro un canale a cielo aperto.

L'intero impianto di trattamento è stato dimensionato per poter trattare la somma tra la portata con $Tr=5$ anni che perviene dalla sommità dei lotti I e II ed il massimo valore di portata che può essere sollevato in contemporaneo.

3.3.2 Dimensionamento del sistema di smaltimento negli strati superficiali del suolo

Come detto in precedenza è stato previsto lo smaltimento negli strati superficiali del suolo delle acque meteoriche.

Tale bacino è stato individuato in un'area depressa posta ad ovest del capannone di trattamenti dei rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata.

Al fine di garantire sempre la funzionalità dell'intera opera e, quindi, la sicurezza idraulica della discarica, il sistema di smaltimento delle acque meteoriche è stato dimensionato per poter laminare e garantire l'infiltrazione di portate meteoriche caratterizzate da **tempi di ritorno $T_r = 200$ anni**. Inoltre è stato verificato il comportamento e l'affidabilità dell'intero sistema con portate caratterizzate da tempi di ritorno differenti, variabili tra 5 e 200 anni.

È stato quindi previsto un sistema di smaltimento composto da un **bacino di laminazione/dispersione** realizzato in terra e composto da:

- scarpate con pendenza 1:4 (tali da permettere un agevole accesso al fondo vasca) ed altezza massima di 1 m
- fondo di estensione pari a circa 1.500 mq, costituito da un vespaio di altezza 50 cm realizzato con pietrame rinveniente dalle attività di scavo;
- altezza massima di invaso pari a circa 1,30 m, al quale corrisponde un volume massimo di invaso pari a circa 1.950 mc
- n.21 perforazioni disperdenti realizzate mediante trivellazione di diametro 150 mm e profondità 20 m.

Il dimensionamento / verifica dell'intero sistema si è basato sull'equazione di continuità per cui in ogni istante il volume di laminazione $V(t)$ è pari alla differenza fra il volume di acqua che entra nel vespaio e quello smaltito tramite la permeabilità del terreno sino a quell'istante, ossia:

$$V(t) = V_{\text{affl}}(t) - Q_{\text{dispersa}} \times t \quad (1)$$

Dove

$V(t)$ volume di laminazione nell'istante t (mc)

$V_{\text{affl}}(t)$ volume che affluisce al sistema disperdente nell'istante t , il quale è funzione del bacino scolante e delle curve di possibilità climatiche relative al $T_r=20$ anni (mc)

Q_{dispersa} la portata che si disperde attraverso l'intero sistema (mc/sec)

imponendo per Q_{dispersa} la somma della portata smaltibile dalla superficie inferiore del bacino di laminazione/dispersione e della portata smaltibile attraverso i pozzi perdenti.

E ponendo:

$$V_{\text{affl}}(t) = \Phi \times A \times h - V_0 + V_{\text{soll}}$$

dove

Φ = coefficiente di afflusso relativo all'intero bacino (imposto pari a 0,85)

A = superficie dell'area scolante (ha)

h = altezza di pioggia data da $a t^n$ dove a ed n sono relativi alle curve per $T_r=20$ anni

V_0 = la somma del volume invasato nella rete di fognatura, del volume degli invasi superficiali e del volume invasato nella vasca di accumulo delle acque di pioggia, ovvero la somma di:

- volume invasato nella rete di fognatura posto, in via precauzionale, pari a 0 mc

- volume invasato dagli "invasi superficiali" posto pari a 0 mc in quanto le coperture non presentano avvallamenti che possano determinare degli invasi superficiali;
- volume invasato dal velo idrico superficiale assunto pari a 5 mc/ha, pari ad un velo idrico di 0,5 mm.

V_{solli} = volume dato, all'istante t, dalla portata sollevata dagli impianti di sollevamento relativi alla copertura del III lotto e alle n.3 vasche di accumulo poste a fondo cava.

Per quanto riguarda il volume sollevato, si è ipotizzato (in maniera del tutto precauzionale) che l'impianto possa attivarsi all'istante 0 con la portata massima che, stando a quanto detto in precedenza corrisponde alla portata massima dell'impianto n.1, dell'impianto n.2 (o dell'impianto n.3) e dell'impianto di sollevamento posto sulla copertura del III lotto.

La valutazione della portata che si disperde attraverso il fondo della vasca di dispersione è stata effettuata utilizzando la legge di Darcy:

$$Q_{\text{dispersa}} = k \times j \times A_f$$

dove:

Q_{dispersa} = la portata d'infiltrazione (mc/sec);

k = il coefficiente di permeabilità (m/s);

J = la cadente piezometrica (m/m). Valutata pari a 1 in quanto il tirante idrico della superficie filtrante è trascurabile rispetto all'altezza dello strato filtrante e la superficie piezometrica della falda è convenientemente al di sotto del fondo disperdente;

A_f = la superficie netta d'infiltrazione (mq).

Per quanto concerne la definizione del coefficiente di permeabilità k, è d'uopo notare che, anche se ipotizzato omogeneo ed isotropo, il suolo ha caratteristiche che variano (alle volte notevolmente) in base alla profondità.

Dal progetto Definitivo si desume che *"Le prove di permeabilità svolte in loco ... hanno riportato i seguenti valori:*

- $K = 1,87 \times 10^{-4}$ m/s ad una profondità di 10 metri;

- $K = 1,02 \times 10^{-3}$ m/s ad una profondità di 6 metri."

In fase di progetto esecutivo sono state effettuate ulteriori indagini in sito volte ad approfondire il valore di permeabilità dell'area in questione. In particolare sono state effettuate prove sia a carico variabile che a carico costante in scavi esplorativi ed in sondaggi.

Dall'analisi di tali prove e tenendo un congruo fattore di sicurezza, si è assunto un valore del **coefficiente di permeabilità pari a 1×10^{-5} m/sec** (molto più prudente del valore individuato nel progetto definitivo).

Per quanto riguarda invece la capacità di dispersione dei pozzi, sono state eseguite delle prove di immissione fino alla portata di 10 l/s, verificando che tale valore è certamente compatibile per ottenere il completo smaltimento.

3.3.3 Verifica del sistema di smaltimento

Una volta effettuato il dimensionamento del bacino, si è proceduto con la verifica del sistema di smaltimento per portate caratterizzate da tempi di ritorno variabili tra 5 e 200 anni.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dalla quale si evince che **l'intero sistema di dispersione risulta essere valido anche per $Tr=200$ anni.**

| Tempo di ritorno [anni] | Superficie drenante bacino [mq] | Volume utile bacino [mc] | Volume minimo di laminazione [mc] | Tempo di riempimento [min] | Tempo di svuotamento [min] | Altezza velo idrico massimo [m] |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 5 | 1.130 | 1.130 | 317,46 | 30 | 100 | 0,29 |
| 10 | 1.130 | 1.130 | 446,93 | 30 | 135 | 0,40 |
| 15 | 1.130 | 1.130 | 523,81 | 30 | 150 | 0,47 |
| 20 | 1.130 | 1.130 | 575,27 | 30 | 165 | 0,52 |
| 25 | 1.130 | 1.130 | 615,04 | 30 | 180 | 0,55 |
| 50 | 1.130 | 1.130 | 736,87 | 30 | 210 | 0,66 |
| 200 | 1.130 | 1.130 | 996,87 | 45 | 270 | 0,89 |

3.3.4 Connessione tra manufatto di trattamento e sistema di smaltimento

La connessione tra l'impianto di trattamento delle acque meteoriche ed il bacino di laminazione / dispersione verrà realizzato mediante una condotta in c.a. del DN800 in uscita dall'impianto di trattamento, posata con pendenza del 2%. L'attraversamento della viabilità attigua al I lotto di discarica sarà effettuato con la medesima condotta.

Di seguito si riportano le scale di deflusso desunte con la formula di Chézy imponendo i seguenti coefficienti di scabrezza di Bazin

$\gamma = 0,23$ per condotte in calcestruzzo

$\gamma = 0,85$ per il canale a cielo aperto

ed utilizzando come portata di progetto la somma tra la portata con $T_r=5$ anni che perviene dalla sommità dei lotti I e II ed il massimo valore di portata che può essere sollevato in contemporaneo ($694 \text{ l/sec} + 4 \times 20 \text{ l/sec} = 764 \text{ l/sec}$).

| Altezza di riempimento mm. | angolo al centro | Sezione liquida mq. | Contorno bagnato m. | Raggio idraulico m. | Velocità m/sec. | Portata lt/sec. |
|----------------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| 50 | 5,27 | 0,01308 | 0,404 | 0,032 | 0,97 | 12,70 |
| 100 | 4,84 | 0,03626 | 0,578 | 0,063 | 1,61 | 58,25 |
| 150 | 4,49 | 0,06524 | 0,717 | 0,091 | 2,11 | 137,46 |
| 200 | 4,19 | 0,09827 | 0,838 | 0,117 | 2,52 | 247,73 |
| 250 | 3,91 | 0,13420 | 0,949 | 0,141 | 2,87 | 385,25 |
| 300 | 3,65 | 0,17217 | 1,054 | 0,163 | 3,17 | 545,46 |
| 350 | 3,39 | 0,21143 | 1,156 | 0,183 | 3,42 | 723,30 |
| 400 | 3,14 | 0,25133 | 1,257 | 0,200 | 3,63 | 913,23 |
| 450 | 2,89 | 0,29122 | 1,357 | 0,215 | 3,81 | 1109,26 |
| 500 | 2,64 | 0,33049 | 1,459 | 0,227 | 3,95 | 1304,86 |
| 550 | 2,37 | 0,36845 | 1,564 | 0,236 | 4,05 | 1492,80 |
| 600 | 2,09 | 0,40439 | 1,676 | 0,241 | 4,12 | 1664,85 |
| 650 | 1,79 | 0,43741 | 1,797 | 0,243 | 4,14 | 1811,12 |
| 700 | 1,45 | 0,46639 | 1,935 | 0,241 | 4,11 | 1918,38 |
| 750 | 1,01 | 0,48957 | 2,109 | 0,232 | 4,01 | 1964,43 |
| 800 | 0,00 | 0,50265 | 2,513 | 0,200 | 3,63 | 1826,45 |

Scala di deflusso condotta circolare DN800 in calcestruzzo con pendenza $i=2\%$

4 IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO ACQUE METEORICHE

Dai calcoli idraulici effettuati per definire la portata meteorica ed il volume di pioggia di progetto è emerso che le opere di accumulo temporaneo delle acque meteoriche sono tali da permetterne lo svuotamento al termine dell'evento meteorico.

La scelta della portata da sollevare è stata effettuata definendo, per un determinato volume di pioggia, un tempo di svuotamento compatibile con la normativa e con il recapito finale. In particolare **si prevede di adottare un valore di portata da sollevare pari a 20 l/sec.**

Al fine di garantire la funzionalità dell'impianto di sollevamento, si è previsto di installare, per ciascun impianto, n.2 elettropompe sommergibili da 20 l/sec (una titolare ed una di riserva). Tali elettropompe verranno attivate in maniera alternata in modo da ridurre i rischi di blocco.

Di seguito verrà effettuata la verifica di ciascun impianto di sollevamento prevedendo il funzionamento di una singola elettropompa (20 l/sec).

4.1 DEFINIZIONE DELLE PERDITE DI CARICO

Per la valutazione delle perdite di carico nelle tubazioni è stato eseguito utilizzando formule comunemente usate in campo idraulico.

4.1.1 Perdite di carico distribuite nelle correnti in pressione

Definita la portata di progetto e la geometria della rete, è stato verificato il tronco valutando le perdite di carico distribuite e concentrate. La verifica della condotta ed il calcolo della perdita di carico (cadente) sono effettuati utilizzando le seguenti formule:

$$\Delta h = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \times 9,81} \cdot L$$

ove:

$$V = \text{velocità} = \frac{Q}{3,14 \cdot D^2} (m/s)$$

Q = portata (mc/s)

D = diametro (m)

$$\lambda = \text{fattore di rugosità (Colebrook)} = \left(\frac{1}{2 \cdot \lg \frac{3,71 \cdot D}{\varepsilon}} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{8D}{\text{Re} \cdot \varepsilon} \right)$$

ε = rugosità

$$\text{Re} = \text{numero di Reynolds} = \frac{V \cdot D}{a}$$

a = viscosità cinematica = $1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (per acqua a 15°C)

Δh = perdita di carico (m di H₂O)

4.1.2 Perdite di carico localizzate

Le perdite di carico localizzate dovute a saracinesche, curve, valvole di ritegno, ecc. sono state assimilate a perdite di carico distribuite calcolando la lunghezza equivalente data dai grafici allegati.

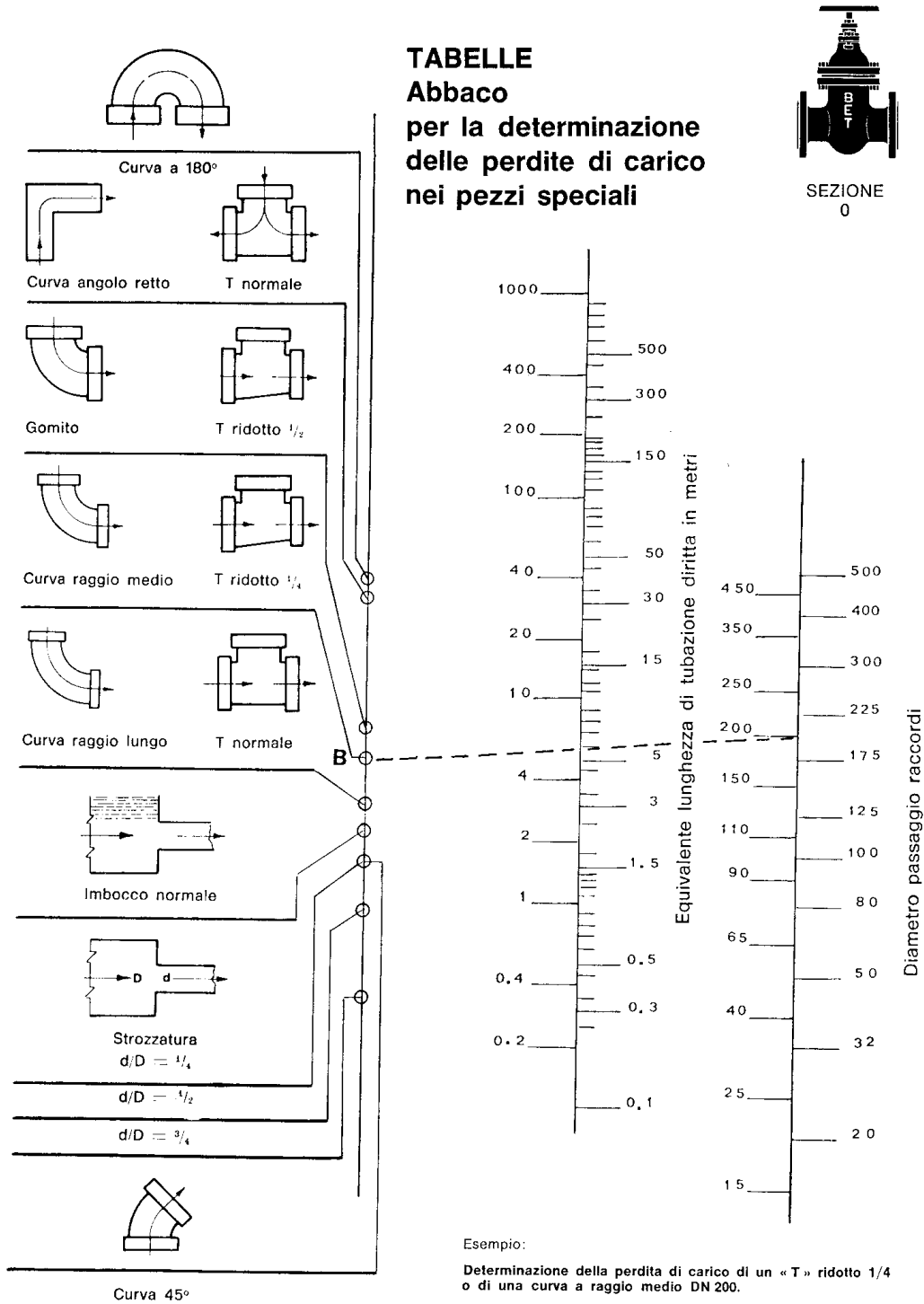
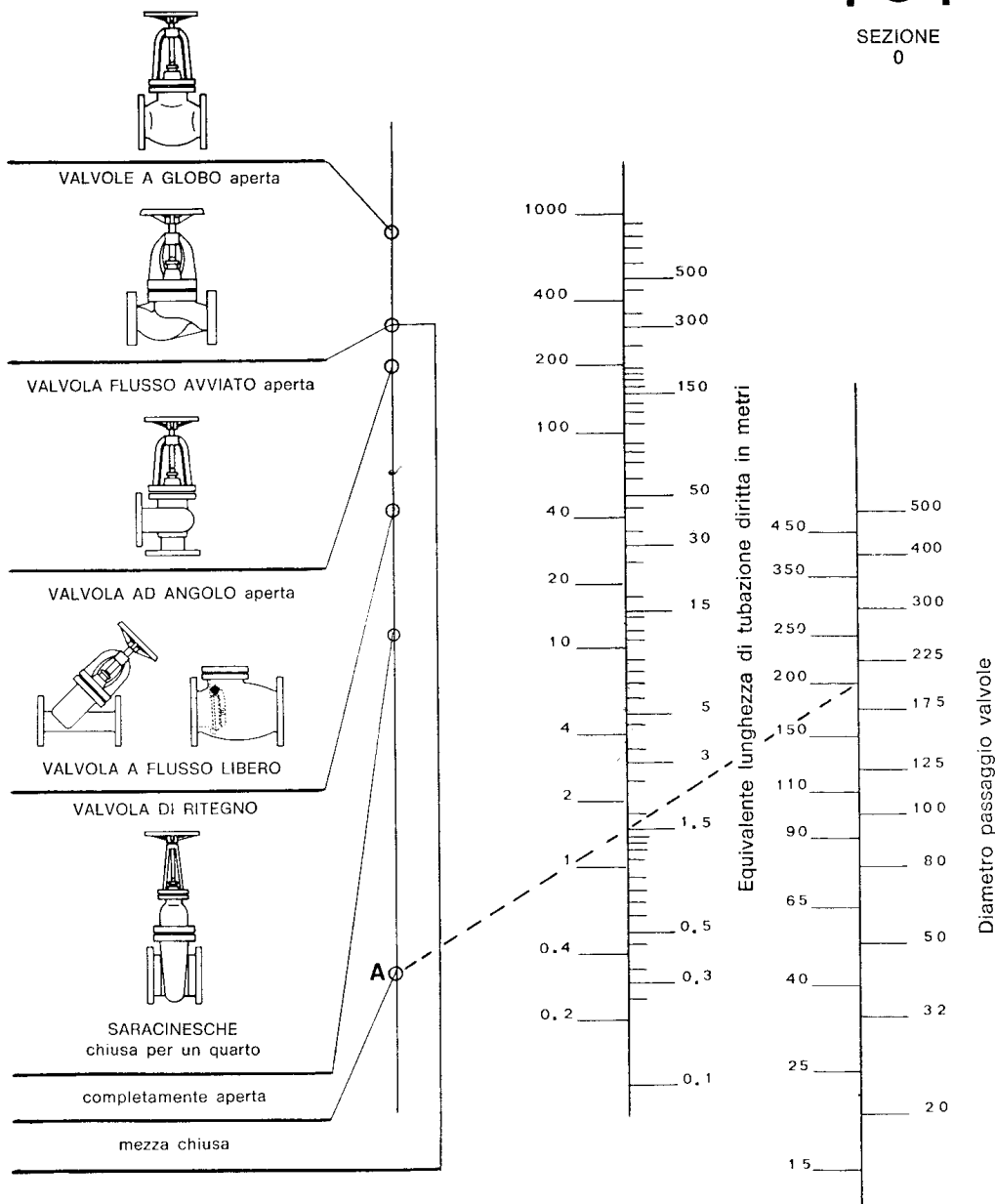


TABELLE
Abbaco per la determinazione
delle perdite di carico nelle valvole



Esempio: **Determinazione della perdita di carico di una saracinesca DN 200 completamente aperta.**
 Tracciare una retta che congiunga il punto « A » corrispondente alla saracinesca aperta col diametro 200 indicato nella terza colonna — il punto di intersezione con la colonna centrale dà la perdita di carico — che in questo caso risulta di metri 1,5 di tubazione dal diametro di 200 mm.

4.2 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO ACQUE SOMMITALI III LOTTO

Nota la portata da sollevare e la geometria del tracciato, di seguito si riporta il calcolo delle perdite di carico.

Dati:

Portata da sollevare: 20 l/sec (72 mc/h)

Tratto 1

Diametro premente pompa: DN 150

Lunghezza premente: 16 m

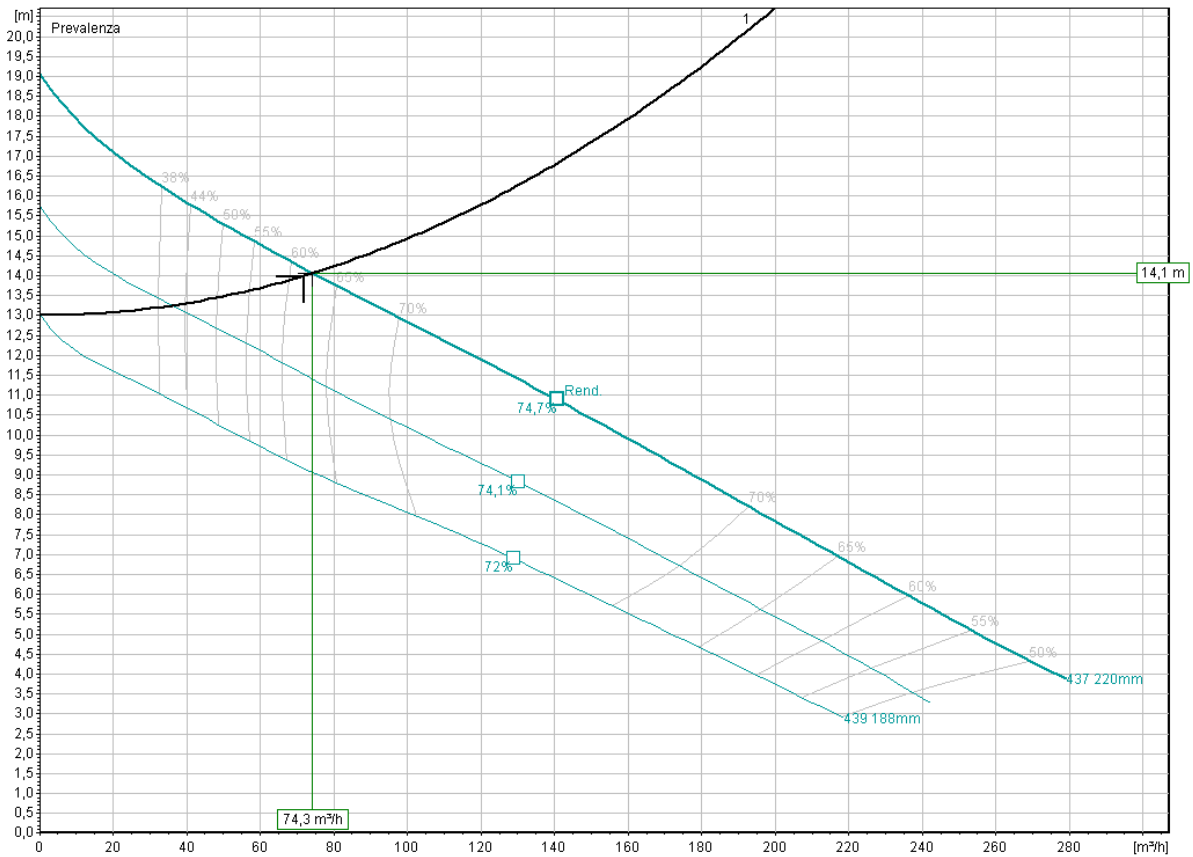
| | |
|---|--|
| Scabrezza | 0,10 mm (valutata a tubi usati) |
| Velocità | 1,13m/sec |
| Numero di Reynolds (RE) | 168752,76 |
| Coefficiente resistenza (Colebrook) Lambda: | 0,0198942 |
| Perdita di carico distribuita | 0,14 m |
| Apparecchiature e pezzi speciali: | |
| curve a raggio lungo | n.8 (lunghezza equivalente 8x3,5=28 m) |
| Tee | n.1 (lunghezza equivalente 1x9=9 m) |
| Saracinesca | n.1 (lunghezza equivalente 1x1=1 m) |
| Perdita di carico localizzata | 0,26 m |

Tratto 2

| | |
|---|--------------------------------------|
| Diametro collettore: | De280 (in Polietilene) |
| Lunghezza collettore: | 240 m |
| Scabrezza | 0,10 mm (valutata a tubi usati) |
| Velocità | 0,63 m/sec |
| Numero di Reynolds (RE) | 126564,56 |
| Coefficiente resistenza (Colebrook) Lambda: | 0,01973528 |
| Perdita di carico distribuita | 0,49 m |
| Apparecchiature e pezzi speciali: | |
| curve a raggio lungo | n.8 (lunghezza equivalente 8x7=56 m) |
| Perdita di carico localizzata | 0,11 m |
| Perdita complessiva | 1,00 m |

Considerando una geodetica di 13,00 m, l'impianto di sollevamento avrà una prevalenza, al punto di lavoro di 72 mc/h, di 14 m.

Di seguito si allega la curva delle prestazioni dell'impianto



4.3 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO ACQUE FONDO CAVA

Dati:

Portata da sollevare: 20 l/sec (72 mc/h)

Tratto 1

Diametro premente pompa: DN 150

Lunghezza premente: 15 m

Scabrezza 0,10 mm (valutata a tubi usati)

Velocità 1,13m/sec

Numero di Reynolds (RE) 168752,76

Coefficiente resistenza (Colebrook) Lambda: 0,0198942

Perdita di carico distribuita **0,13 m**

Apparecchiature e pezzi speciali:

curve a raggio lungo n.5 (lunghezza equivalente 5x3,5=17,5 m)

Tee n.1 (lunghezza equivalente 1x9=9 m)

Saracinesca n.1 (lunghezza equivalente 1x1=1 m)

Perdita di carico localizzata **0,24 m**

Tratto 2

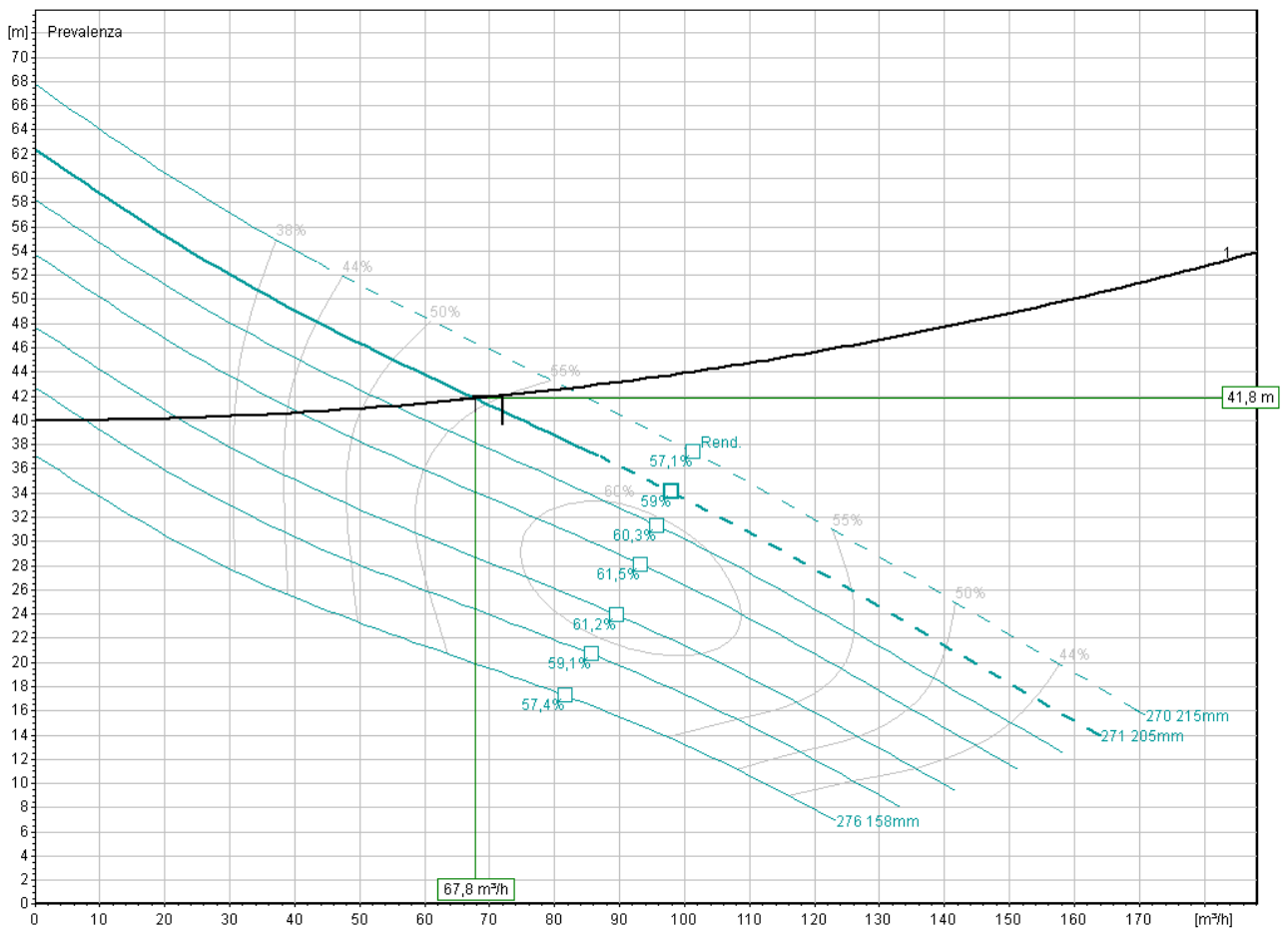
Diametro collettore: De240 (in Polietilene)

Lunghezza collettore: 750 m

| | |
|---|--|
| Scabrezza | 0,10 mm (valutata a tubi usati) |
| Velocità | 0,63 m/sec |
| Numero di Reynolds (RE) | 126564,56 |
| Coefficiente resistenza (Colebrook) Lambda: | 0,01973528 |
| Perdita di carico distribuita | 1,53 m |
| Apparecchiature e pezzi speciali: | |
| curve a raggio lungo | n.10 (lunghezza equivalente 10x7=70 m) |
| Perdita di carico localizzata | 0,14 m |
| Perdita complessiva | 2,04 m |



Considerando una geodetica di 40 m, l'impianto di sollevamento avrà una prevalenza, al punto di lavoro di 72 mc/h, di 42,04 m.

Di seguito si allega la curva delle prestazioni dell'impianto



5 ALLEGATI

5.1 DATI PLUVIOMETRICI DELLA STAZIONE DI ANDRIA

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>REGIONE PUGLIA SERVIZIO PROTEZIONE CIVILE Centro Funzionale Regionale ANDRIA</p> </div>  </div> | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|--------|--------|------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| latitudine 41° 13' 13,71" N | | | | longitudine 16° 17' 39,24" E | | | | | | | | | |
| ANNO | Max intensità | | | 1 ORA | | 3 ORE | | 6 ORE | | 12 ORE | | 24 ORE | |
| | mm | data | minuti | mm | data | mm | data | mm | data | mm | data | mm | data |
| 1959 | 20,8 | 1-lug | 20 | 25,6 | 1-lug | 25,8 | 1-lug | 36,2 | 24-nov | 54,0 | 24-nov | 82,8 | 24-nov |
| 1963 | 11,0 | 9-ott | 5 | 30,2 | 10-ott | 34,4 | 10-ott | 34,4 | 10-ott | 35,0 | 9-ott | 50,0 | 9-ott |
| 1965 | 13,2 | 10-ott | 15 | 20,0 | 10-ott | 32,8 | 10-ott | 43,6 | 10-feb | 61,0 | 9-feb | 92,2 | 9-feb |
| 1966 | 8,2 | 20-set | 10 | 16,8 | 31-mag | 21,0 | 31-ago | 21,0 | 31-ago | 25,4 | 16-set | 32,4 | 12-gen |
| 1967 | 29,8 | 12-lug | 30 | 31,8 | 12-lug | 31,8 | 12-lug | 31,8 | 12-lug | 35,2 | 12-dic | 43,8 | 12-dic |
| 1968 | 20,8 | 24-giu | 15 | 21,0 | 24-giu | 25,8 | 12-giu | 27,4 | 12-giu | 29,0 | 24-giu | 38,2 | 11-giu |
| 1969 | 8,2 | 14-giu | 10 | 19,0 | 5-set | 21,4 | 5-set | 30,6 | 14-giu | 32,2 | 1-dic | 38,8 | 1-dic |
| 1970 | 26,0 | 1-ott | 20 | 34,2 | 18-set | 55,0 | 18-set | 72,6 | 18-set | 98,8 | 17-set | 118,4 | 17-set |
| 1971 | >> | >> | >> | 33,0 | 30-set | 58,4 | 30-set | 77,0 | 30-set | 81,0 | 30-set | 107,8 | 24-feb |
| 1972 | 13,6 | 15-ott | 10 | 28,0 | 15-ott | 46,6 | 15-ott | 59,2 | 15-set | 79,8 | 15-ott | 91,6 | 15-ott |
| 1973 | 19,6 | 27-ago | 20 | 21,0 | 2-feb | 30,4 | 18-giu | 30,6 | 18-giu | 44,2 | 18-giu | 45,2 | 2-dic |
| 1974 | 9,4 | 7-nov | 25 | 14,0 | 18-feb | 21,4 | 18-feb | 29,4 | 30-dic | 35,4 | 30-dic | 35,4 | 30-dic |
| 1975 | 26,2 | 22-mag | 40 | 26,2 | 22-mag | 26,2 | 22-mag | 39,2 | 28-nov | 55,2 | 21-mar | 74,0 | 21-mar |
| 1976 | 13,6 | 3-ago | 15 | 18,8 | 3-ago | 29,8 | 24-mag | 38,8 | 24-mag | 51,6 | 23-mag | 83,2 | 23-mag |
| 1977 | 47,4 | 2-set | 30 | 49,6 | 2-set | 51,4 | 2-set | 57,8 | 2-set | 66,8 | 2-set | 77,2 | 2-set |
| 1978 | >> | >> | >> | 17,2 | 6-mar | 30,6 | 6-mar | 45,8 | 6-mar | 45,8 | 6-mar | 45,8 | 6-mar |
| 1979 | 12,0 | 18-ago | 15 | 12,2 | 11-ago | 20,2 | 21-ago | 22,6 | 21-ago | 30,2 | 4-nov | 47,2 | 4-nov |
| 1980 | 20,8 | 25-set | 10 | 31,2 | 25-set | 31,4 | 25-set | 31,4 | 25-set | 40,0 | 1-mag | 47,6 | 11-gen |
| 1981 | 15,6 | 6-set | 15 | 16,0 | 6-set | 20,0 | 13-ago | 24,8 | 26-feb | 33,2 | 26-feb | 39,4 | 25-feb |
| 1982 | 30,0 | 10-ago | 20 | 58,6 | 10-ago | 66,2 | 10-ago | 66,2 | 10-ago | 66,6 | 10-ago | 68,0 | 9-ago |
| 1983 | 12,4 | 7-giu | 20 | 21,6 | 30-nov | 40,0 | 25-ott | 54,8 | 25-ott | 54,8 | 25-ott | 67,0 | 24-ott |
| 1984 | >> | >> | >> | >> | >> | 25,4 | 20-set | 27,4 | 20-set | >> | >> | 40,0 | 10-gen |
| 1985 | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | 28,4 | 16-apr | 42,2 | 16-apr | 54,0 | 16-apr |
| 1986 | >> | >> | >> | 19,4 | 14-lug | 19,4 | 14-lug | 23,4 | 22-feb | 36,4 | 22-feb | 38,0 | 22-feb |
| 1987 | 25,0 | 11-ott | 12 | 26,6 | 11-ott | 27,0 | 11-ott | 33,2 | 21-nov | 51,6 | 20-nov | 73,0 | 20-nov |
| 1988 | >> | >> | >> | >> | >> | 32,6 | 17-set | 46,0 | 17-set | 47,2 | 16-set | 56,8 | 16-set |
| 1989 | >> | >> | >> | >> | >> | 19,0 | 21-mar | 25,8 | 21-mar | 27,4 | 21-mar | 28,8 | 21-mar |
| 1990 | 8,8 | 9-apr | 10 | 13,2 | 9-apr | 22,2 | 9-apr | 29,2 | 9-apr | 41,4 | 15-nov | 56,2 | 15-nov |
| 1991 | 10,8 | 24-lug | 5 | 23,2 | 15-set | 23,4 | 15-set | 28,0 | 15-set | 29,6 | 21-ott | 38,2 | 11-apr |
| 1992 | >> | >> | >> | >> | >> | 23,8 | 11-apr | 36,0 | 11-apr | 60,4 | 10-apr | 77,0 | 10-apr |
| 1993 | 20,0 | 14-giu | 30 | 32,6 | 14-giu | 42,6 | 14-giu | 45,6 | 14-giu | 45,6 | 14-giu | 49,6 | 1-gen |
| 1994 | 14,0 | 19-set | 30 | 19,4 | 10-giu | 26,6 | 10-giu | 35,4 | 14-feb | 50,0 | 14-feb | 53,4 | 14-feb |
| 1995 | 22,6 | 22-ago | 15 | 25,8 | 22-ago | 26,0 | 22-ago | 26,0 | 22-ago | 28,4 | 5-gen | 37,0 | 5-gen |
| | 25,4 | 22-ago | 30 | | | | | | | | | | |
| 1996 | 9,8 | 22-set | 15 | 16,8 | 5-ott | 20,2 | 1-dic | 29,6 | 1-dic | 42,6 | 1-dic | 44,2 | 1-dic |
| | 13,0 | 5-ott | 30 | | | | | | | | | | |
| 1997 | 16,2 | 14-ott | 15 | 29,4 | 14-ott | 65,2 | 14-ott | 74,6 | 14-ott | 75,0 | 14-ott | 81,6 | 14-ott |
| | 18,4 | 14-ott | 30 | | | | | | | | | | |
| 1998 | 10,8 | 9-set | 5 | 33,0 | 9-set | 48,0 | 9-set | 48,0 | 9-set | 48,0 | 9-set | 50,8 | 22-nov |
| | 26,6 | 9-set | 15 | | | | | | | | | | |
| | 31,8 | 9-set | 30 | | | | | | | | | | |
| 1999 | 8,8 | 8-nov | 5 | 46,4 | 8-nov | 76,0 | 8-nov | 88,0 | 8-nov | 113,6 | 8-nov | 118,0 | 8-nov |
| | 23,4 | 16-giu | 15 | | | | | | | | | | |
| | 30,0 | 8-nov | 30 | | | | | | | | | | |
| 2000 | 10,0 | 4-apr | 5 | 24,0 | 1-ott | 24,2 | 10-feb | 30,2 | 10-feb | 33,0 | 9-feb | 35,4 | 9-feb |
| | 21,2 | 1-ott | 15 | | | | | | | | | | |
| | 23,4 | 1-ott | 30 | | | | | | | | | | |
| 2001 | 5,0 | 17-apr | 5 | 9,6 | 14-gen | 17,4 | 14-gen | 28,6 | 14-gen | 42,8 | 13-gen | 51,8 | 14-apr |
| | 7,4 | 17-apr | 15 | | | | | | | | | | |
| | 8,8 | 17-apr | 30 | | | | | | | | | | |
| 2002 | 10,2 | 28-ago | 5 | 22,8 | 26-lug | 47,2 | 1-dic | 62,2 | 1-dic | 78,0 | 1-dic | 88,0 | 1-dic |
| | 17,8 | 7-set | 15 | | | | | | | | | | |
| | 20,4 | 26-lug | 30 | | | | | | | | | | |
| 2003 | 4,6 | 29-giu | 5 | 16,4 | 24-gen | 31,4 | 24-gen | 48,6 | 24-gen | 63,8 | 24-gen | 79,2 | 24-gen |
| | 8,2 | 26-ago | 15 | | | | | | | | | | |
| | 12,0 | 26-ago | 30 | | | | | | | | | | |
| 2004 | 7,0 | 15-set | 5 | 18,0 | 14-nov | 23,8 | 8-nov | 39,4 | 14-nov | 43,6 | 13-nov | 55,6 | 7-nov |
| | 11,6 | 15-set | 15 | | | | | | | | | | |
| | 15,6 | 14-nov | 30 | | | | | | | | | | |
| 2005 | 8,8 | 11-lug | 5 | 27,4 | 6-ott | 33,6 | 6-ott | 34,2 | 6-ott | 53,4 | 22-nov | 80,6 | 22-nov |
| | 17,4 | 13-set | 15 | | | | | | | | | | |
| | | 6-ott | | | | | | | | | | | |
| | 24,2 | 6-ott | 30 | | | | | | | | | | |
| 2006 | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> | >> |

5.2 PIOGGE INFERIORI ALL'ORA: DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE

| Altezze ragguagliate in base alle piogge di durata 1 ora Formola di Bell | | | | | | |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Anno | 5 min | 10 min | 15 min | 20 min | 30 min | 45 min |
| 1959 | 5,20 | 10,40 | 15,60 | 20,80 | 20,80 | 23,00 |
| 1963 | 11,00 | 13,90 | 16,99 | 19,39 | 23,07 | 27,14 |
| 1965 | 4,40 | 8,80 | 13,20 | 13,20 | 15,28 | 17,97 |
| 1966 | 4,10 | 8,20 | 9,45 | 10,78 | 12,83 | 15,10 |
| 1967 | 4,97 | 9,93 | 14,90 | 19,87 | 29,80 | 29,80 |
| 1968 | 6,93 | 13,87 | 20,80 | 20,80 | 20,80 | 20,80 |
| 1969 | 4,10 | 8,20 | 10,69 | 12,20 | 14,51 | 17,07 |
| 1970 | 6,50 | 13,00 | 19,50 | 26,00 | 26,12 | 30,73 |
| 1971 | 10,15 | 15,19 | 18,57 | 21,18 | 25,20 | 29,65 |
| 1972 | 6,80 | 13,60 | 15,76 | 17,97 | 21,39 | 25,16 |
| 1973 | 4,90 | 9,80 | 14,70 | 19,60 | 19,60 | 19,60 |
| 1974 | 1,88 | 3,76 | 5,64 | 7,52 | 10,69 | 12,58 |
| 1975 | 3,28 | 6,55 | 9,83 | 13,10 | 19,65 | 26,20 |
| 1976 | 4,53 | 9,07 | 13,60 | 13,60 | 14,36 | 16,89 |
| 1977 | 7,90 | 15,80 | 23,70 | 31,60 | 47,40 | 47,40 |
| 1978 | 5,29 | 7,92 | 9,68 | 11,04 | 13,14 | 15,46 |
| 1979 | 4,00 | 8,00 | 12,00 | 12,00 | 12,00 | 12,00 |
| 1980 | 10,40 | 20,80 | 20,80 | 20,80 | 23,83 | 28,04 |
| 1981 | 5,20 | 10,40 | 15,60 | 15,60 | 15,60 | 15,60 |
| 1982 | 7,50 | 15,00 | 22,50 | 30,00 | 44,76 | 52,66 |
| 1983 | 3,10 | 6,20 | 9,30 | 12,40 | 16,50 | 19,41 |
| 1984 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1985 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1986 | 5,97 | 8,93 | 10,92 | 12,45 | 14,82 | 17,43 |
| 1987 | 10,42 | 20,83 | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| 1988 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1989 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1990 | 4,40 | 8,80 | 8,80 | 8,80 | 10,08 | 11,86 |
| 1991 | 10,80 | 10,80 | 13,05 | 14,89 | 17,72 | 20,85 |
| 1992 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1993 | 3,33 | 6,67 | 10,00 | 13,33 | 20,00 | 29,29 |
| 1994 | 2,33 | 4,67 | 7,00 | 9,33 | 14,00 | 17,43 |
| 1995 | 7,53 | 15,07 | 22,60 | 22,60 | 22,60 | 23,18 |
| | 4,23 | 8,47 | 12,70 | 16,93 | 25,40 | 25,40 |
| 1996 | 3,27 | 6,53 | 9,80 | 10,78 | 12,83 | 15,10 |
| | 2,17 | 4,33 | 6,50 | 8,67 | 13,00 | 13,00 |
| 1997 | 5,40 | 10,80 | 16,20 | 18,87 | 22,46 | 26,42 |
| | 3,07 | 6,13 | 9,20 | 12,27 | 18,40 | 18,40 |
| 1998 | 10,80 | 15,19 | 18,57 | 21,18 | 25,20 | 29,65 |
| | 8,87 | 17,73 | 26,60 | 26,60 | 26,60 | 26,60 |
| | 5,30 | 10,60 | 15,90 | 21,20 | 31,80 | 31,80 |
| 1999 | 8,80 | 21,36 | 26,11 | 29,79 | 35,44 | 41,70 |
| | 7,80 | 15,60 | 23,40 | 23,40 | 23,40 | 23,40 |
| | 5,00 | 10,00 | 15,00 | 20,00 | 30,00 | 30,00 |
| 2000 | 10,00 | 11,05 | 13,51 | 15,41 | 18,33 | 21,57 |
| | 7,07 | 14,13 | 21,20 | 21,20 | 21,20 | 21,20 |
| | 3,90 | 7,80 | 11,70 | 15,60 | 23,40 | 23,40 |
| 2001 | 5,00 | 5,00 | 5,40 | 6,16 | 7,33 | 8,63 |
| | 2,47 | 4,93 | 7,40 | 7,40 | 7,40 | 7,40 |
| | 1,47 | 2,93 | 4,40 | 5,87 | 8,80 | 8,80 |
| 2002 | 10,20 | 10,49 | 12,83 | 14,64 | 17,41 | 20,49 |
| | 5,93 | 11,87 | 17,80 | 17,80 | 17,80 | 17,80 |
| | 3,40 | 6,80 | 10,20 | 13,60 | 20,40 | 20,40 |
| 2003 | 4,60 | 7,55 | 9,23 | 10,53 | 12,53 | 14,74 |
| | 2,73 | 5,47 | 8,20 | 8,20 | 8,20 | 8,20 |
| | 2,00 | 4,00 | 6,00 | 8,00 | 12,00 | 12,00 |
| 2004 | 7,00 | 8,28 | 10,13 | 11,56 | 13,75 | 16,17 |
| | 3,87 | 7,73 | 11,60 | 11,60 | 11,60 | 11,60 |
| | 2,60 | 5,20 | 7,80 | 10,40 | 15,60 | 15,60 |
| 2005 | 8,80 | 12,61 | 15,42 | 17,59 | 20,93 | 24,62 |
| | 5,80 | 11,60 | 17,40 | 17,40 | 17,40 | 17,40 |

| Altezze ragguagliate in base alle piogge di durata 1 ora | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Formula di Bell | | | | | | |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 4,03 | 8,07 | 12,10 | 16,13 | 24,20 | 24,20 |
| 2006 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2007 | 6,00 | 6,00 | 7,32 | 8,35 | 9,93 | 11,68 |
| | 3,87 | 7,73 | 11,60 | 11,60 | 11,60 | 11,60 |
| | 2,10 | 4,20 | 6,30 | 8,40 | 12,60 | 12,60 |
| 2008 | 9,00 | 9,00 | 10,80 | 12,33 | 14,66 | 17,25 |
| | 5,47 | 10,93 | 16,40 | 16,40 | 16,40 | 16,40 |
| | 2,97 | 5,93 | 8,90 | 11,87 | 17,80 | 17,80 |
| 2009 | 7,40 | 10,31 | 12,60 | 14,38 | 17,11 | 20,13 |
| | 4,07 | 8,13 | 12,20 | 12,20 | 12,20 | 12,20 |
| | 2,43 | 4,87 | 7,30 | 9,73 | 14,60 | 14,60 |
| 2010 | 8,20 | 8,20 | 8,44 | 9,63 | 11,46 | 13,48 |
| | 4,40 | 8,80 | 13,20 | 13,20 | 13,20 | 13,20 |
| | 2,40 | 4,80 | 7,20 | 9,60 | 14,40 | 14,40 |
| 2011 | 8,20 | 25,04 | 30,61 | 34,92 | 41,55 | 48,88 |
| | 6,33 | 12,67 | 19,00 | 19,00 | 19,00 | 19,00 |
| | 5,07 | 10,13 | 15,20 | 20,27 | 30,40 | 30,40 |
| 2012 | 10,80 | 12,52 | 15,31 | 17,46 | 20,78 | 24,44 |
| | 8,00 | 16,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| | 2,25 | 4,50 | 6,75 | 9,00 | 13,50 | 13,50 |

5.3 ELABORAZIONE DATI PLUVIOMETRICI - STAZIONE DI ANDRIA (5MIN – 1H)

| ANNO | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | NUMERO OSSERVAZIONI | | | | | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|---|
| | | | | | | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | |
| 1959 | 5,20 | 10,40 | 15,60 | 20,80 | 25,60 | 0 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 1963 | 11,00 | 13,90 | 16,99 | 23,07 | 30,20 | 8 | 7 | 6 | 6 | 6 | |
| 1965 | 4,40 | 8,80 | 13,20 | 15,28 | 20,00 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | |
| 1966 | 4,10 | 8,20 | 9,45 | 12,83 | 16,80 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | |
| 1967 | 4,97 | 9,93 | 14,90 | 29,80 | 31,80 | 3 | 4 | 5 | 7 | 7 | |
| 1968 | 6,93 | 13,87 | 20,80 | 20,80 | 21,00 | 5 | 7 | 7 | 5 | 4 | |
| 1969 | 4,10 | 8,20 | 10,69 | 14,51 | 19,00 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | |
| 1970 | 6,50 | 13,00 | 19,50 | 26,12 | 34,20 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | |
| 1971 | 10,15 | 15,19 | 18,57 | 25,20 | 33,00 | 8 | 7 | 6 | 6 | 7 | |
| 1972 | 6,80 | 13,60 | 15,76 | 21,39 | 28,00 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | |
| 1973 | 4,90 | 9,80 | 14,70 | 19,60 | 21,00 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | |
| 1974 | 1,88 | 3,76 | 5,64 | 10,69 | 14,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 1975 | 3,28 | 6,55 | 9,83 | 19,65 | 26,20 | 1 | 2 | 2 | 5 | 5 | |
| 1976 | 4,53 | 9,07 | 13,60 | 14,36 | 18,80 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | |
| 1977 | 7,90 | 15,80 | 23,70 | 47,40 | 49,60 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | |
| 1978 | 5,29 | 7,92 | 9,68 | 13,14 | 17,20 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 1979 | 4,00 | 8,00 | 12,00 | 12,00 | 12,20 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | |
| 1980 | 10,40 | 20,80 | 20,80 | 23,83 | 31,20 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | |
| 1981 | 5,20 | 10,40 | 15,60 | 15,60 | 16,00 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | |
| 1982 | 7,50 | 15,00 | 22,50 | 44,76 | 58,60 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | |
| 1983 | 3,10 | 6,20 | 9,30 | 16,50 | 21,60 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | |
| 1986 | 5,97 | 8,93 | 10,92 | 14,82 | 19,40 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | |
| 1987 | 10,42 | 20,83 | 25,00 | 25,00 | 26,60 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | |
| 1990 | 4,40 | 8,80 | 8,80 | 10,08 | 13,20 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | |
| 1991 | 10,80 | 10,80 | 13,05 | 17,72 | 23,20 | 8 | 5 | 4 | 4 | 4 | |
| 1993 | 3,33 | 6,67 | 10,00 | 20,00 | 32,60 | 1 | 2 | 2 | 5 | 7 | |
| 1994 | 2,33 | 4,67 | 7,00 | 14,00 | 19,40 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | |
| 1995 | 7,53 | 15,07 | 22,60 | 25,40 | 25,80 | 6 | 7 | 8 | 7 | 5 | |
| 1996 | 3,27 | 6,53 | 9,80 | 13,00 | 16,80 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 1997 | 5,40 | 10,80 | 16,20 | 22,46 | 29,40 | 3 | 5 | 5 | 6 | 6 | |
| 1998 | 10,80 | 17,73 | 26,60 | 31,80 | 33,00 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | |
| 1999 | 8,80 | 21,36 | 26,11 | 35,44 | 46,40 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 2000 | 10,00 | 14,13 | 21,20 | 23,40 | 24,00 | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | |
| 2001 | 5,00 | 5,00 | 7,40 | 8,80 | 9,60 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 2002 | 10,20 | 11,87 | 17,80 | 20,40 | 22,80 | 8 | 5 | 6 | 5 | 4 | |
| 2003 | 4,60 | 7,55 | 9,23 | 12,53 | 16,40 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | |
| 2004 | 7,00 | 8,28 | 11,60 | 15,60 | 18,00 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 2005 | 8,80 | 12,61 | 17,40 | 24,20 | 27,40 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| 2007 | 6,00 | 7,73 | 11,60 | 12,60 | 13,00 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | |
| 2008 | 9,00 | 10,93 | 16,40 | 17,80 | 19,20 | 7 | 5 | 6 | 4 | 3 | |
| 2009 | 7,40 | 10,31 | 12,60 | 17,11 | 22,40 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | |
| 2010 | 8,20 | 8,80 | 13,20 | 14,40 | 15,00 | 7 | 3 | 4 | 2 | 2 | |
| 2011 | 8,20 | 25,04 | 30,61 | 41,55 | 54,40 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 2012 | 10,80 | 16,00 | 24,00 | 24,00 | 27,20 | 8 | 7 | 8 | 6 | 6 | |

| | | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |
|-----|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| /// | m(h) | 6,60 | 11,34 | 15,50 | 20,67 | 25,03 |
| /// | s(h) | 2,62 | 4,71 | 5,95 | 8,74 | 10,70 |
| /// | a(h) | 0,4897 | 0,2723 | 0,2155 | 0,1468 | 0,1199 |
| /// | u(h) | 5,42 | 9,22 | 12,82 | 16,74 | 20,21 |
| | Tr = 5 anni | 8,48 | 14,73 | 19,78 | 26,95 | 32,73 |
| | Tr = 10 anni | 10,02 | 17,48 | 23,26 | 32,07 | 38,99 |
| | Tr = 15 anni | 10,88 | 19,04 | 25,23 | 34,95 | 42,52 |
| | Tr = 20 anni | 11,49 | 20,12 | 26,60 | 36,97 | 44,99 |
| | Tr = 25 anni | 11,95 | 20,96 | 27,66 | 38,52 | 46,90 |
| | Tr = 50 anni | 13,39 | 23,55 | 30,93 | 43,31 | 52,77 |
| | Tr = 200 anni | 16,24 | 28,67 | 37,39 | 52,81 | 64,40 |

m(h) = media dei valori rispetto alla durata dell'evento

s(h) = scarto quadratico medio

a(h) = variabile della distribuzione di Gumbel

u(h) = variabile della distribuzione di Gumbel

N = Numero di eventi

K = Numero di calssi di appartenenza

Ni = Frequenza dei valori empirici

f = Numero di gradi di libertà

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| N = | 44 | K = | 8 | Npi = | 5,5 | f = | 7 | | |
| Classi | P(i) | P(hi+1) | U(i+1) | 5 min h(i+1) | 10 min h(i+1) | 15 min h(i+1) | 30 min h(i+1) | 60 min h(i+1) | |
| 1 | 0,1250 | 0,13 | -0,732 | 3,93 | 6,53 | 9,42 | 11,75 | 14,10 | |
| 2 | 0,1250 | 0,25 | -0,327 | 4,75 | 8,02 | 11,30 | 14,51 | 17,49 | |
| 3 | 0,1250 | 0,38 | 0,019 | 5,46 | 9,29 | 12,91 | 16,87 | 20,37 | |
| 4 | 0,1250 | 0,50 | 0,367 | 6,17 | 10,56 | 14,52 | 19,23 | 23,27 | |
| 5 | 0,1250 | 0,63 | 0,755 | 6,96 | 11,99 | 16,32 | 21,88 | 26,51 | |
| 6 | 0,1250 | 0,75 | 1,246 | 7,96 | 13,79 | 18,60 | 25,22 | 30,61 | |
| 7 | 0,1250 | 0,88 | 2,013 | 9,53 | 16,61 | 22,16 | 30,45 | 37,01 | |
| 8 | 0,1250 | 1,00 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | |

| FREQUENZE | | | | | | |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--|
| Classi | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | |
| 1 | 6 | 4 | 6 | 3 | 5 | |
| 2 | 7 | 7 | 7 | 10 | 6 | |
| 3 | 7 | 8 | 4 | 5 | 7 | |
| 4 | 2 | 5 | 4 | 3 | 6 | |
| 5 | 3 | 4 | 6 | 7 | 4 | |
| 6 | 5 | 3 | 5 | 8 | 6 | |
| 7 | 5 | 8 | 4 | 3 | 6 | |
| 8 | 9 | 5 | 8 | 5 | 4 | |

| | | | | | |
|----------|-------|------|------|------|------|
| χ^2 | 6,55 | 4,73 | 2,91 | 8,73 | 1,45 |
| χ^2 | 14,07 | | | | |

CURVE INTERPOLATRICI (5 - 60)

| | | |
|---------------|-----------|-----------|
| Tr = 5 anni | a = 36,77 | n = 0,539 |
| Tr = 10 anni | a = 43,77 | n = 0,543 |
| Tr = 15 anni | a = 47,72 | n = 0,545 |
| Tr = 20 anni | a = 50,49 | n = 0,546 |
| Tr = 25 anni | a = 52,62 | n = 0,546 |
| Tr = 50 anni | a = 59,18 | n = 0,548 |
| Tr = 200 anni | a = 72,18 | n = 0,551 |

5.4 ELABORAZIONE DATI PLUVIOMETRICI - STAZIONE DI ANDRIA (1H – 24H)

| ANNO | NUMERO OSSERVAZIONI | | | | |
|------|---------------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 60 min | 180 min | 360 min | 720 min | 1.440 min |
| 1959 | 25,60 | 25,80 | 36,20 | 54,00 | 82,80 |
| 1963 | 30,20 | 34,40 | 34,40 | 35,00 | 50,00 |
| 1965 | 20,00 | 32,80 | 43,60 | 61,00 | 92,20 |
| 1966 | 16,80 | 21,00 | 21,00 | 25,40 | 32,40 |
| 1967 | 31,80 | 31,80 | 31,80 | 35,20 | 43,80 |
| 1968 | 21,00 | 25,80 | 27,40 | 29,00 | 38,20 |
| 1969 | 19,00 | 21,40 | 30,60 | 32,20 | 38,80 |
| 1970 | 34,20 | 55,00 | 72,60 | 98,80 | 118,40 |
| 1971 | 33,00 | 58,40 | 77,00 | 81,00 | 107,80 |
| 1972 | 28,00 | 46,60 | 59,20 | 79,80 | 91,60 |
| 1973 | 21,00 | 30,40 | 30,60 | 44,20 | 45,20 |
| 1974 | 14,00 | 21,40 | 29,40 | 35,40 | 35,40 |
| 1975 | 26,20 | 26,20 | 39,20 | 55,20 | 74,00 |
| 1976 | 18,80 | 29,80 | 38,80 | 51,60 | 83,20 |
| 1977 | 49,60 | 51,40 | 57,80 | 66,80 | 77,20 |
| 1978 | 17,20 | 30,60 | 45,80 | 45,80 | 45,80 |
| 1979 | 12,20 | 20,20 | 22,60 | 30,20 | 47,20 |
| 1980 | 31,20 | 31,40 | 31,40 | 40,00 | 47,60 |
| 1981 | 16,00 | 20,00 | 24,80 | 33,20 | 39,40 |
| 1982 | 58,60 | 66,20 | 66,20 | 66,60 | 68,00 |
| 1983 | 21,60 | 40,00 | 54,80 | 54,80 | 67,00 |
| 1986 | 19,40 | 19,40 | 23,40 | 36,40 | 38,00 |
| 1987 | 26,60 | 27,00 | 33,20 | 51,60 | 73,00 |
| 1990 | 13,20 | 22,20 | 29,20 | 41,40 | 56,20 |
| 1991 | 23,20 | 23,40 | 28,00 | 29,60 | 38,20 |
| 1993 | 32,60 | 42,60 | 45,60 | 45,60 | 49,60 |
| 1994 | 19,40 | 26,60 | 35,40 | 50,00 | 53,40 |
| 1995 | 25,80 | 26,00 | 26,00 | 28,40 | 37,00 |
| 1996 | 16,80 | 20,20 | 29,60 | 42,60 | 44,20 |
| 1997 | 29,40 | 65,20 | 74,60 | 75,00 | 81,60 |
| 1998 | 33,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 50,80 |
| 1999 | 46,40 | 76,00 | 88,00 | 113,60 | 118,00 |
| 2000 | 24,00 | 24,20 | 30,20 | 33,00 | 35,40 |
| 2001 | 9,60 | 17,40 | 28,60 | 42,80 | 51,80 |
| 2002 | 22,80 | 47,20 | 62,20 | 78,00 | 88,00 |
| 2003 | 16,40 | 31,40 | 48,60 | 63,80 | 79,20 |
| 2004 | 18,00 | 23,80 | 39,40 | 43,60 | 55,60 |
| 2005 | 27,40 | 33,60 | 34,20 | 53,40 | 80,60 |
| 2007 | 13,00 | 22,80 | 31,60 | 40,60 | 43,60 |
| 2008 | 19,20 | 22,60 | 31,20 | 38,60 | 48,20 |
| 2009 | 22,40 | 42,80 | 64,80 | 70,80 | 76,80 |
| 2010 | 15,00 | 23,40 | 38,40 | 53,20 | 95,40 |
| 2011 | 54,40 | 94,60 | 103,00 | 103,00 | 103,20 |
| 2012 | 27,20 | 28,60 | 29,00 | 34,20 | 45,80 |

| | | 60 min | 180 min | 360 min | 720 min | 1.440 min |
|-----|---------------|--------|---------|---------|---------|-----------|
| /// | m(h) | 25,03 | 34,76 | 42,67 | 51,65 | 62,95 |
| /// | s(h) | 10,70 | 16,72 | 18,75 | 20,61 | 23,88 |
| /// | a(h) | 0,1199 | 0,0767 | 0,0684 | 0,0623 | 0,0537 |
| /// | u(h) | 20,21 | 27,24 | 34,23 | 42,37 | 52,20 |
| | Tr = 5 anni | 32,73 | 46,79 | 56,16 | 66,47 | 80,12 |
| | Tr = 10 anni | 38,99 | 56,57 | 67,12 | 78,52 | 94,09 |
| | Tr = 15 anni | 42,52 | 62,09 | 73,31 | 85,32 | 101,97 |
| | Tr = 20 anni | 44,99 | 65,95 | 77,65 | 90,08 | 107,49 |
| | Tr = 25 anni | 46,90 | 68,93 | 80,98 | 93,75 | 111,74 |
| | Tr = 50 anni | 52,77 | 78,10 | 91,27 | 105,05 | 124,83 |
| | Tr = 200 anni | 64,40 | 96,26 | 111,64 | 127,43 | 150,78 |

m(h) = media dei valori rispetto alla durata dell'evento

s(h) = scarto quadratico medio

a(h) = variabile della distribuzione di Gumbel

u(h) = variabile della distribuzione di Gumbel

N = Numero di eventi

K = Numero di calssi di appartenenza

Ni = Frequenza dei valori empirici

f = Numero di gradi di libertà

| N = 44 | | K = 8 | | Npi = 5,5 | | f = 7 | | |
|--------|--------|---------|--------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Classi | P(i) | P(hi+1) | U(i+1) | 60 min h(i+1) | 180 min h(i+1) | 360 min h(i+1) | 720 min h(i+1) | 1.440 min h(i+1) |
| 1 | 0,1250 | 0,13 | -0,732 | 14,10 | 17,70 | 23,53 | 30,62 | 38,57 |
| 2 | 0,1250 | 0,25 | -0,327 | 17,49 | 22,98 | 29,46 | 37,13 | 46,12 |
| 3 | 0,1250 | 0,38 | 0,019 | 20,37 | 27,49 | 34,51 | 42,69 | 52,56 |
| 4 | 0,1250 | 0,50 | 0,367 | 23,27 | 32,02 | 39,59 | 48,26 | 59,02 |
| 5 | 0,1250 | 0,63 | 0,755 | 26,51 | 37,08 | 45,27 | 54,50 | 66,26 |
| 6 | 0,1250 | 0,75 | 1,246 | 30,61 | 43,48 | 52,44 | 62,39 | 75,39 |
| 7 | 0,1250 | 0,88 | 2,013 | 37,01 | 53,48 | 63,66 | 74,71 | 89,68 |
| 8 | 0,1250 | 1,00 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |

| FREQUENZE | | | | | | |
|----------------|--------|---------|---------|---------|-----------|--|
| Classi | 60 min | 180 min | 360 min | 720 min | 1.440 min | |
| 1 | 5 | 1 | 3 | 5 | 7 | |
| 2 | 6 | 10 | 8 | 8 | 8 | |
| 3 | 7 | 10 | 11 | 5 | 7 | |
| 4 | 6 | 7 | 6 | 6 | 3 | |
| 5 | 4 | 3 | 1 | 6 | 0 | |
| 6 | 6 | 3 | 4 | 3 | 4 | |
| 7 | 6 | 4 | 4 | 4 | 8 | |
| 8 | 4 | 6 | 7 | 7 | 7 | |
| X ² | 1,45 | 14,18 | 12,73 | 3,27 | 10,55 | |
| X ² | 14,07 | | | | | |

5.5 PROGETTO E VERIFICA DEL BACINO DI LAMINAZIONE E DISPERSIONE

| Precipitazioni di notevole intensità e breve durata | | | Precipitazioni orarie di durata 1÷24 ore | | |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|
| | a ₁ = | 72,180 | | a ₂ = | 67,860 |
| | n ₁ = | 0,551 | | n ₂ = | 0,260 |
| | T _r = | 0,809 | | | |
| | | | | | |
| | Superficie afferente A (ha)= | 2,57 | | | |
| | Coeff. di afflusso φ= | 0,85 | | | |
| | volume piccoli invasi (mc/ha)= | 5 | | | |
| | volume invasato a monte (mc)= | 0,00 | perm. terreno (m/sec) | | 1,00E-05 |
| | Portata sollevata (mc/s)= | 0,080 | sup drenante (mq) | | 1.130 |
| | | | | | |
| | n. pozzi disperdenti (cad)= | 20 | | | |
| | Portata dispersa per pozzo (l/sec)= | 10,00 | | | |
| | Portata dispersa pozzi (l/sec)= | 200,00 | altezza accumulo (m) | | 1,00 |
| | Portata dispersa bacino (l/sec)= | 11,30 | volume accumulo (mc) | | 1.130 |
| | Portata dispersa (l/sec)= | 211,30 | | | |
| | Volume di laminazione (mc) = | 996,87 | volume utile accumulo (mc) | | 1.130,00 |
| | stante di massimo riempimento (min)= | 45 | | | |
| | Tempo di svuotamento (min)= | 270 | | | |
| | (ore) | 4,50 | | | |
| | (giorni) | 0,19 | | | |
| | | | | | |
| Istante minuti | Altezza di pioggia (mm) | Volume di afflusso per runoff (mc) | Volume di afflusso sollevato (mc) | Volume deflusso (mc) | Volume invasato (mc) |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 33,63 | 721,72 | 72,00 | 190,17 | 603,55 |
| 30 | 49,27 | 1063,37 | 144,00 | 380,34 | 827,03 |
| 45 | 61,60 | 1332,79 | 216,00 | 570,51 | 978,28 |
| 60 | 67,86 | 1469,55 | 288,00 | 760,68 | 996,87 |
| 75 | 71,91 | 1558,10 | 360,00 | 950,85 | 967,25 |
| 90 | 75,40 | 1634,36 | 432,00 | 1141,02 | 925,34 |
| 105 | 78,49 | 1701,72 | 504,00 | 1331,19 | 874,53 |
| 120 | 81,26 | 1762,29 | 576,00 | 1521,36 | 816,93 |
| 135 | 83,79 | 1817,50 | 648,00 | 1711,53 | 753,97 |
| 150 | 86,11 | 1868,33 | 720,00 | 1901,70 | 686,63 |
| 165 | 88,28 | 1915,53 | 792,00 | 2091,87 | 615,66 |
| 180 | 90,30 | 1959,65 | 864,00 | 2282,04 | 541,61 |
| 195 | 92,19 | 2001,13 | 936,00 | 2472,21 | 464,92 |
| 210 | 93,99 | 2040,31 | 1008,00 | 2662,38 | 385,93 |
| 225 | 95,69 | 2077,48 | 1080,00 | 2852,55 | 304,93 |
| 240 | 97,31 | 2112,85 | 1152,00 | 3042,72 | 222,13 |
| 255 | 98,85 | 2146,62 | 1224,00 | 3232,89 | 137,73 |
| 270 | 100,33 | 2178,95 | 1296,00 | 3423,06 | 51,89 |

5.6 TABULATI DI PROGETTO RETE DI DRENAGGIO: CAPPING PROVVISORIO

| N. progressivo tronco | 1 | 2 |
|---|---------------------|---------------------------|
| Codice tronco | Lotto I e II | Scarpata III lotto |
| Tronchi confluenti n. | | |
| Area bacino proprio (ha) | 2,57 | 0,313 |
| Area bacino tributario (ha) | 0 | 0 |
| Area bacino totale (ha) | 2,57 | 0,313 |
| Coeff. di afflusso proprio | 0,85 | 0,85 |
| Coeff. di afflusso totale | 0,85 | 0,85 |
| Lunghezza (m.) | 190 | 75 |
| Pendenza (%) | 0,5 | 0,5 |
| Franco di calcolo (%) | 25 | 25 |
| Gamma (Bazin) | 0,23 | 0,23 |
| Diametro teorico (mm) | 752 | 367 |
| Tipo di sezione di progetto | Rettangolare | Rettangolare |
| Larghezza sezione di progetto (mm) | 780 | 500 |
| Portata di progetto (mc/sec) | 0,694 | 0,101 |
| Altezza di riempimento (mm) | 469 | 175 |
| Sezione liquida (mq) | 0,3661 | 0,2237 |
| Velocità (m/sec) | 1,89 | 1,15 |
| Tempo di riempimento (hh/mm/ss) | 0/ 2/45 | 0/ 1/52 |
| Curva di calcolo | 1 | 1 |
| a' | 36,77 | 36,77 |
| n' | 0,539 | 0,539 |
| epsilon | 1,33158 | 1,33158 |
| Volume invasato a monte (mc) | 0 | 0 |
| Volume invasato nel tronco (mc) | 69,562 | 34,898 |

Tabulato di calcolo dei canali di raccolta delle acque relativi al capping provvisorio