

NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT)



Tavola / Elaborato

R.ID.1

Nome Elaborato:

Opere per la riduzione del rischio idraulico

Scala:

Data:

Gennaio 2020



Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488

Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000

PROGETTISTI :

RESPONSABILE COMMESSA E PROGETTO:

Dott. Ing. Luca DEL BIMBO

GEOLOGIA:

Dott. Geol. Filippo LANDINI

COLLABORATORI

indagini geologiche: Dott. Lorenzo PORAZZINI

opere civili ed edili: Dott. Ing. Lorenzo DEGL'INNOCENTI

opere idrauliche e sanitarie: Dott. Ing. Valentina CAMICI

opere elettriche: P.I. Luca ANGELI

modellazione processi: Dott. Ing. Alice BALDUCCI

CONSULENTI TECNICI

opere architettoniche e paesaggistiche: Arch. Riccardo BONECHI

geologia: Geol. Filippo SOTTANI

opere elettriche: Tecnoengineering s.r.l.

opere civili ed edili: Dott. Ing. Marco BENVENUTO

COMMESSA I.T. :

INGT-TPLPE-PBADD450

COORDINATORE DELLA SICUREZZA :

Dott. Arch. Andrea GAZZARRINI

RESPONSABILE COMMITTENTE :

Ing. Cristiano AGOSTINI

DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :

Dott. Ing. Paolo PIZZARI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

P.I. Armando MINIATI

| Rev. | Data | Descrizione / Motivo della revisione | Redatto | Controllato / Approvato |
|------|--------------|--------------------------------------|---------|-------------------------|
| 00 | Gennaio 2020 | Emissione progetto Esecutivo | CAMICI | DEL BIMBO |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | CARTA DELLA PERICOLOSITÀ PER FATTORI IDRAULICI..... | 2 |
| 2 | CAPTAZIONI DELL'AREA CIRCOSTANTE IL DEPURATORE..... | 8 |
| 3 | STIMA DEL VOLUME DI COMPENSO..... | 12 |
| 3.1 | Volume di compenso Tr200 | 13 |
| 3.2 | Volume Invarianza idraulica..... | 13 |
| 3.3 | Volume Salvaguardia idraulica..... | 16 |
| 3.4 | Volume di compenso definitivo..... | 16 |
| 3.5 | Dimensionamento sfioratore..... | 18 |
| 4 | ANALISI IDRAULICA FOSSO DOGAIA DEI QUADRELLI – HEC HMS..... | 19 |
| 5 | SISTEMAZIONE E VERIFICA RETICOLO IDROGRAFICO | 32 |
| 5.1 | Inquadramento e stato attuale | 32 |
| 5.2 | Sistemazione fossi interni ed esterni all'area del depuratore..... | 36 |
| 5.2.1 | Dati pluviometrici..... | 36 |
| 5.2.2 | Coefficiente di afflusso..... | 38 |
| 5.2.3 | Calcolo portata meteorica..... | 40 |
| 5.2.4 | Stima portate e verifiche idrauliche..... | 46 |
| 5.2.5 | Verifiche idrauliche delle intersezioni tra i canali esistenti e la nuova strada di accesso al depuratore | 50 |
| 6 | ANALISI IDRAULICA DEL FOSSO DOGAIA DEI QUADRELLI (HEC RAS) ... | 53 |
| 6.1 | Caratteristiche geometriche del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto analizzato | 53 |
| 6.2 | Modello utilizzato – Moto Vario | 56 |
| 6.2.1 | Il modello di Moto Vario in Hec Ras | 71 |
| 6.3 | Implementazione del modello..... | 76 |
| 6.4 | Simulazione TR 30 anni | 77 |
| 7 | PRESCRIZIONI CONFERENZA DEI SERVIZI – DECRETO AIT N.11/2019..... | 82 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

1 Carta della pericolosità per fattori idraulici

Si riportano di seguito le tavole estratte dal Regolamento Urbanistico del Comune di Pistoia e dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno relative alla pericolosità per fattori idraulici dell'area di intervento.

La rappresentazione del rischio per alluvioni è stata svolta attraverso la realizzazione della mappa della pericolosità in cui viene riportata la distribuzione degli elementi a rischio.

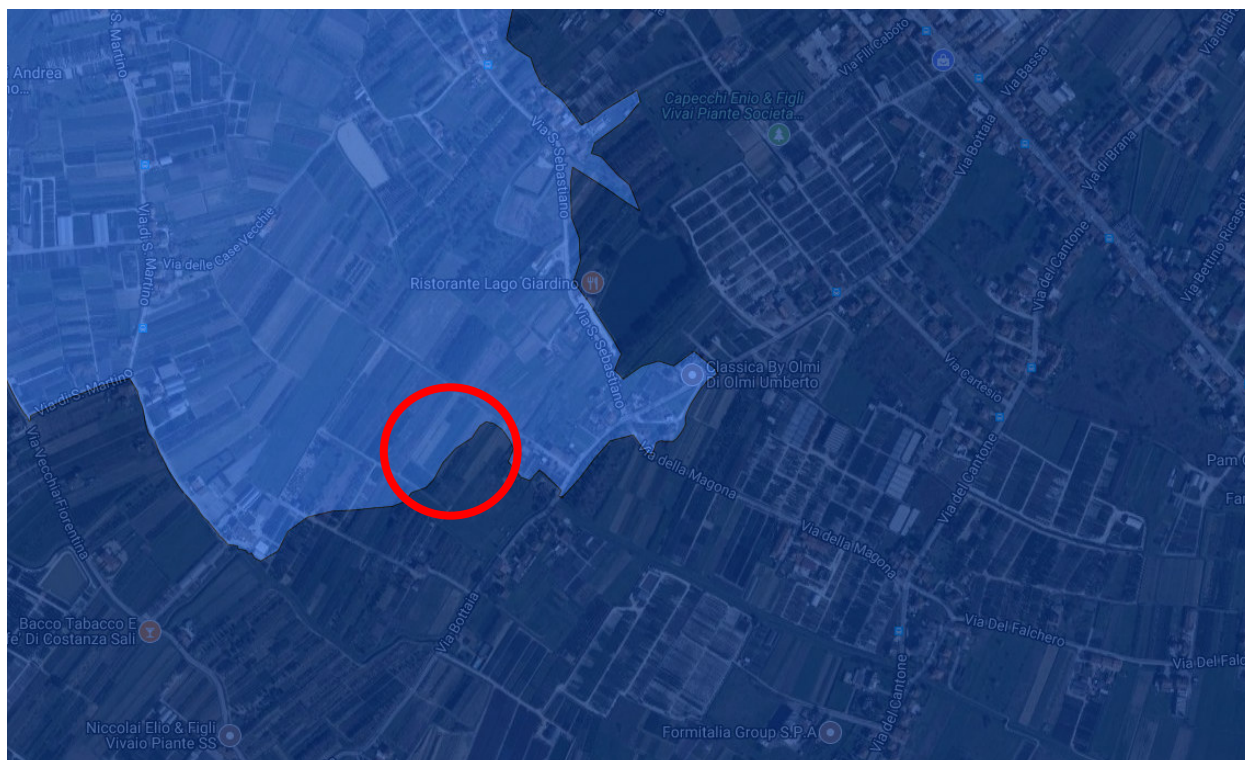
- D4 (Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico – ambientali;
- D3 (Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- D2 (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- D1 (Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

TAV. N. 1 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

PERICOLOSITA' IDRAULICA

AUTORITA' DI BACINO



 P1 **P2** **P3**

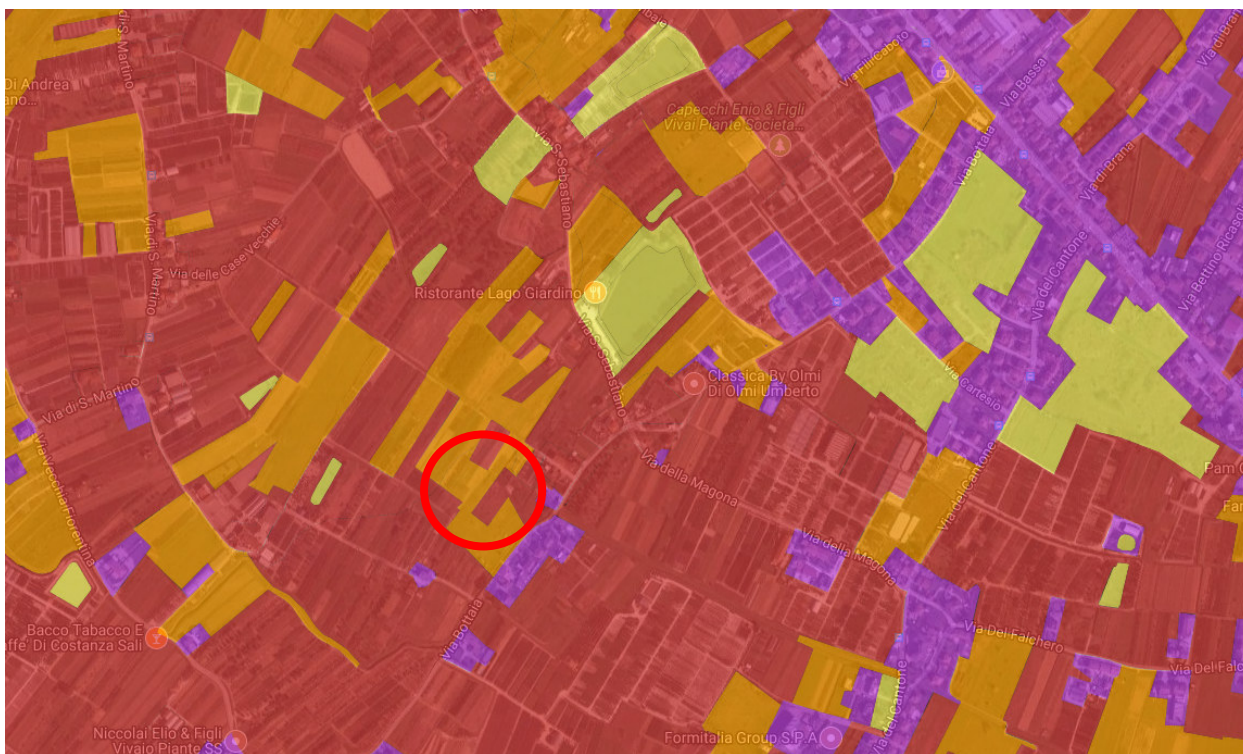
P1→Pericolosità bassa, aree allagabili con Tempo di Ritorno compreso tra 200 e 500 anni;

P2→Pericolosità media, aree allagabili con Tempo di Ritorno compreso tra 30 e 200 anni;

P3→Pericolosità alta, aree allagabili con Tempo di Ritorno inferiore ai 30 anni.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

TAV. N. 2 MAPPA DEL RISCHIO ALLUVIONI
AUTORITA' DI BACINO



- R1
- R2
- R3
- R4

La classe di rischio è ricavata dall'incrocio tra la Pericolosità di alluvioni e il danno, secondo le classi precedentemente riportate.

| | P3 | P2 | P1 |
|----|----|----|----|
| D4 | R4 | R3 | R2 |
| D3 | R3 | R3 | R1 |
| D2 | R2 | R2 | R1 |
| D1 | R1 | R1 | R1 |

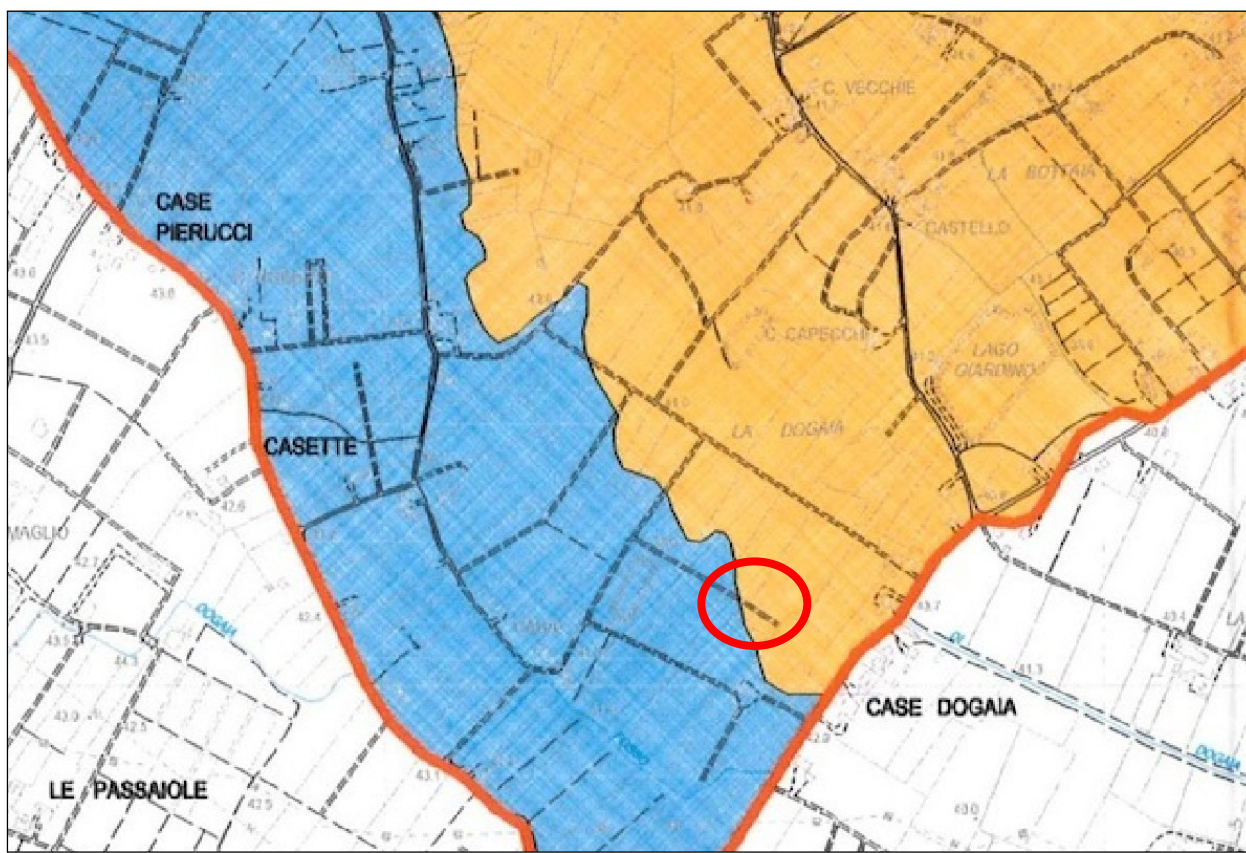
Matrice del rischio adottata

L'area dell'impianto di depurazione ricade in parte all'interno della classe di pericolosità media P2 e in parte alta P3.

La classe di rischio R3/R2.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

TAV. N. 3 CARTA PERICOLOSITA' IDRAULICA COMPLESSIVA
REGOLAMENTO URBANISTICO

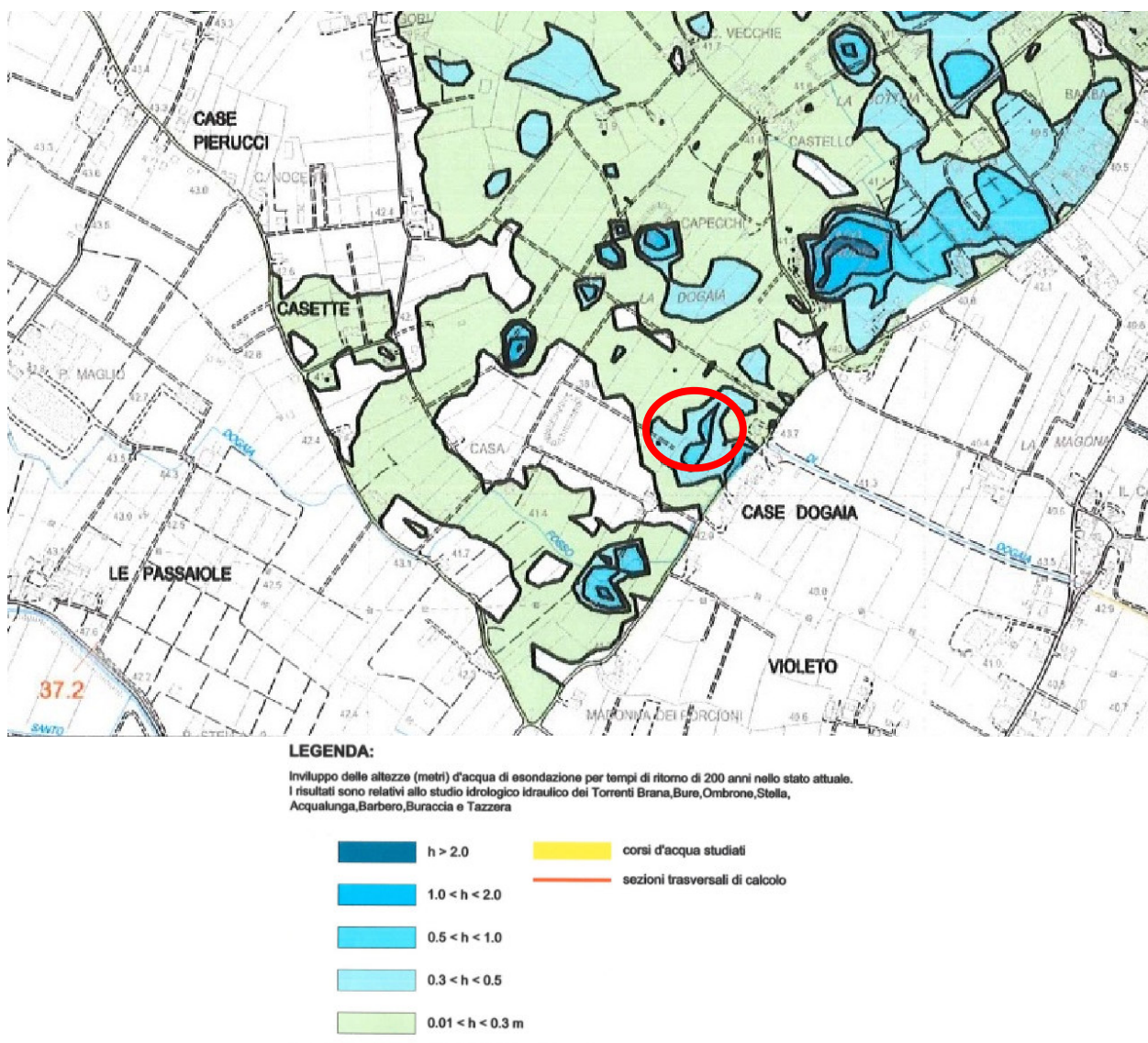


L'area dell'impianto di depurazione ricade in parte all'interno della classe di pericolosità 3 pericolosità elevata (comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $TR \leq 30$ anni con battente $h < 30$ cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno $30 < TR < 100$ anni e con battente > 30 cm).

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

TAV. N. 4 INVILUPPO DELLE ACQUE DI ESONDAZIONE PER TR200 ANNI
REGOLAMENTO URBANISTICO

Nella tavola INVILUPPO delle acque di esondazione per TR 200 anni del Regolamento Urbanistico l'area ha un battente 0-30 cm.



Il battente idraulico con TR200 anni nell'area ove sorge il depuratore risulta:

| Tempo di ritorno (anni) | Battente max. (m) |
|-------------------------|-------------------|
| 200 | 0.01-0.30 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

L'estrazione dei rilievi Lidar del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in scala 1:2.000 ha permesso di valutare la quota media dell'area di futura occupazione del Depuratore Bottegone che risulta pari a 40,86 m s.l.m.



Figura 1-Estrazione dal Lidar dell'area di futura occupazione del Depuratore

La quota comunicatoci da Autorità di Bacino Arno per i battenti idraulici sono:

TR 200 ANNI 41.16 m s.l.m.
TR 30 ANNI 40.34 m s.l.m.

Da tali dati, è possibile valutare il battente medio sull'area per TR 200 anni pari a circa 30 cm.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

2 Captazioni dell'area circostante il depuratore

E' stata verificata l'eventuale presenza di captazioni sotterranee e superficiali ai fini idropotabili soggetti alla disciplina delle aree di salvaguardia di cui all'articolo 94 del D. Lgs. 152/2006.

Il Decreto difatti prevede:

- **zone di tutela assoluta:** area circostante le captazioni di estensione di almeno 10 metri adeguatamente protetta e adibita esclusivamente alle opere di presa;
- **zone di rispetto:** porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta di estensione pari a 200 metri dal punto di captazione dove sono vietate alcune attivita' fra cui spandimento di concimi e prodotti fitosanitari in assenza di un piano di utilizzazione disciplinato dalla Regione, pascolo e stabulazione del bestiame, gestione dei rifiuti, stoccaggio di prodotti o sostanze chimiche pericolose.

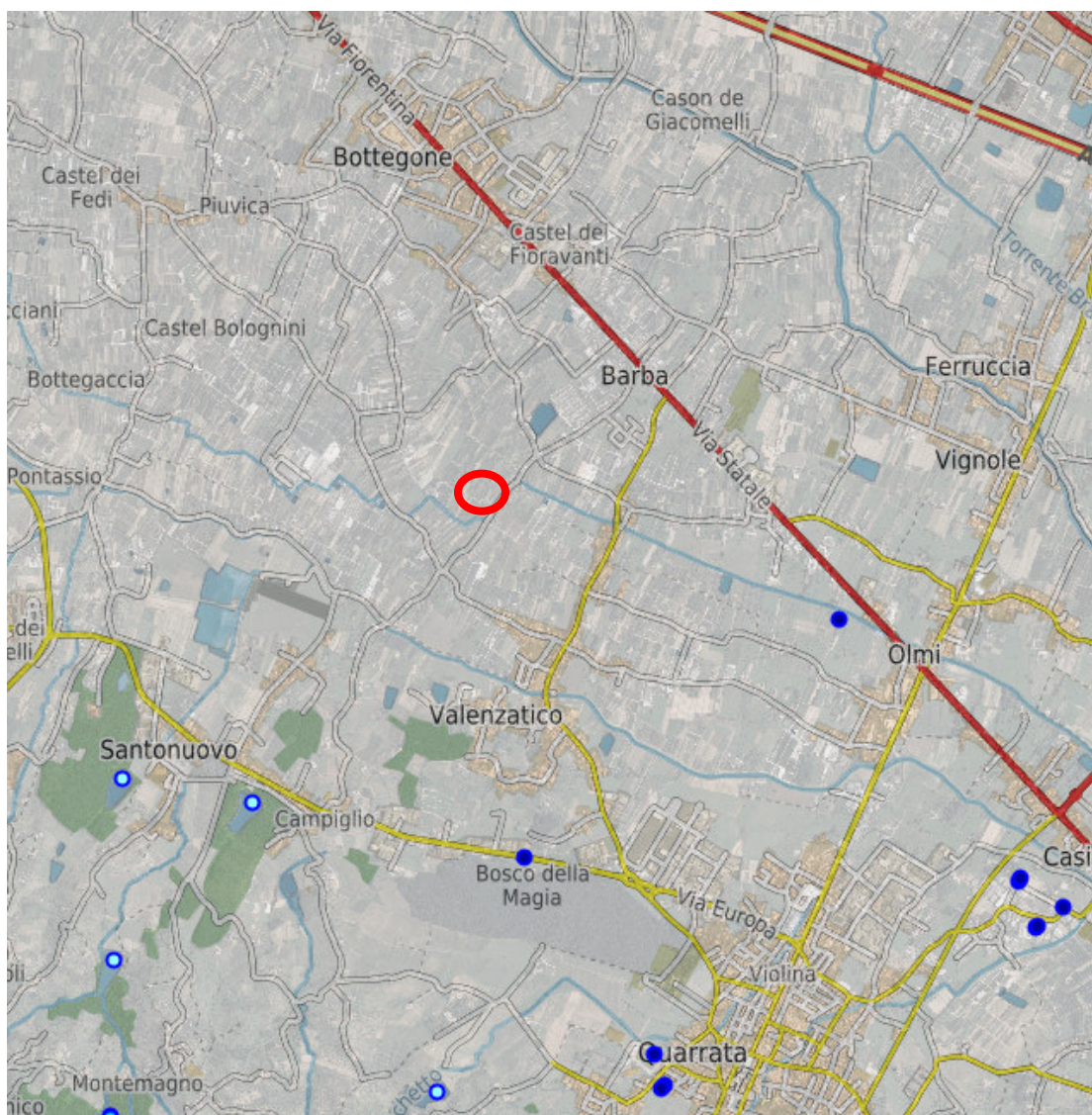
L'area del Depuratore di Bottegone dista a più di 200 metri da eventuali captazioni.

Il Pozzo più vicino, di gestione Publiacqua a servizio del Depuratore Galigana e attualmente dismesso, si trova ad una distanza in linea d'aria di circa 2.0 Km.

Si riportano di seguito estratti di planimetrie utilizzate per censire eventuali attingimenti con fini idropotabili presenti nell'area.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

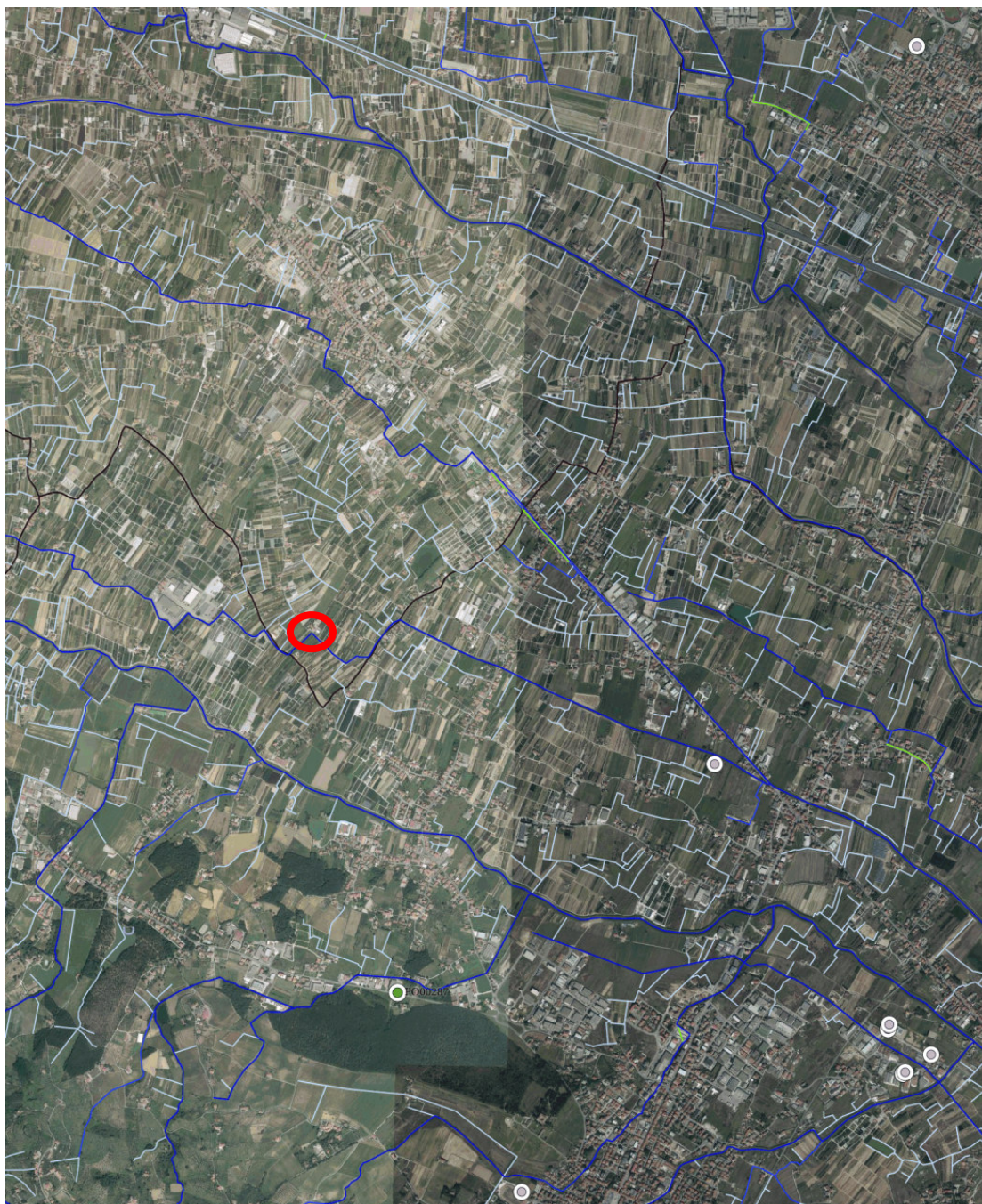
TAV. N. 1 ESTRATTO SIRA –REGIONE TOSCANA



- ☒ Fiumi
- ☒ Laghi
- ☒ Pozzi
- ☒ Sorgenti

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

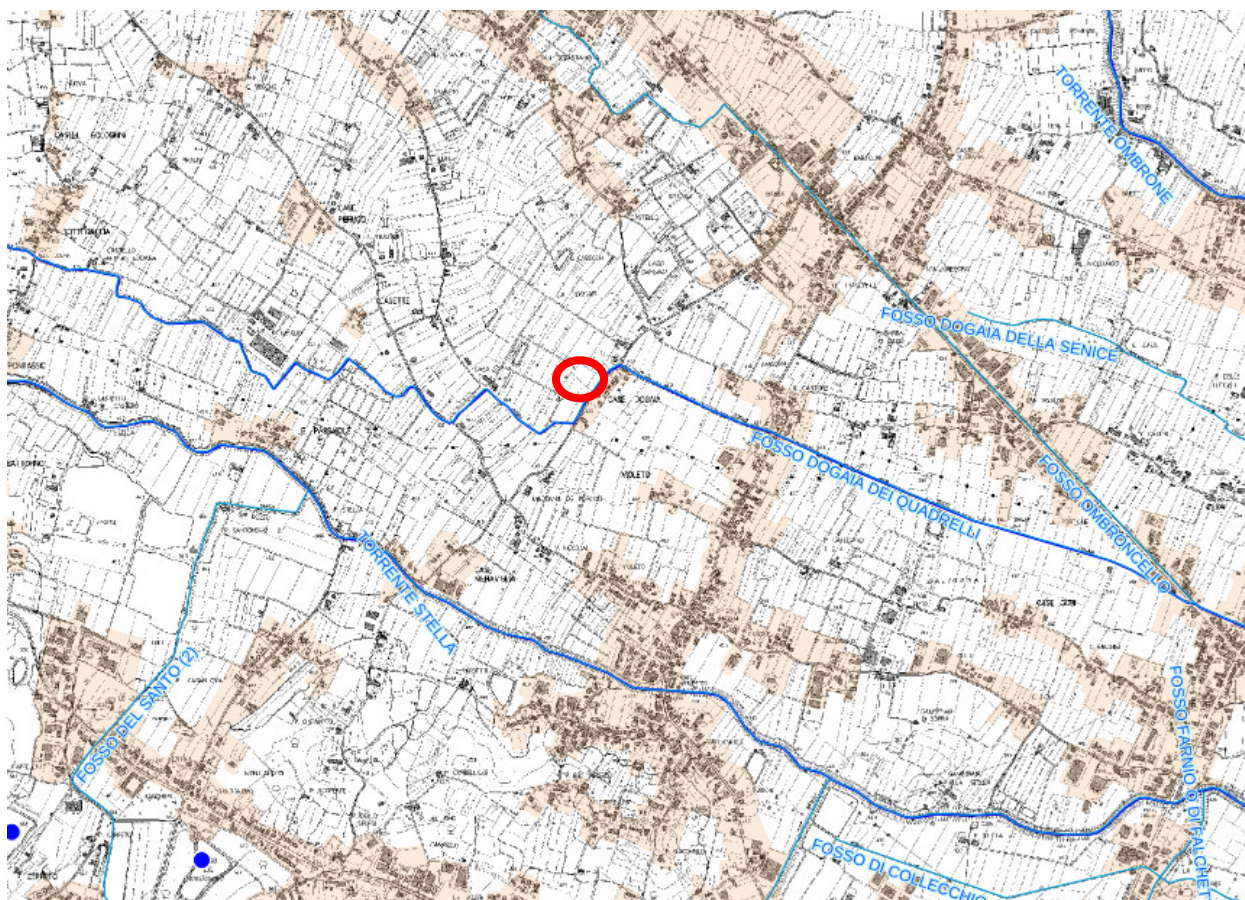
TAV. N. 2 ESTRATTO GIS - PUBLIACQUA



● POZZI attivi
● POZZI non attivi

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

TAV. N. 3 ESTRATTO GEOBASI –REGIONE TOSCANA



| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

3 Stima del volume di compenso

In progetto si prevede di realizzare un volume di compenso dato dalla somma del volume dovuto alla realizzazione del nuovo depuratore e della viabilità di accesso, di quello dovuto alle modifiche sulla permeabilità dei suoli causate dagli stessi interventi e di una criticità idraulica dell'area circostante.

In sede di conferenza istruttoria per la Variante Urbanistica con il Genio Civile è stato stabilito, al fine di tenere conto della criticità idraulica dell'area di Bottegone, di dimensionare il volume di compenso considerando i contributi di:

- *Volume di compenso Tr200*: superfici di nuova costruzione per il battente idraulico Tr200;
- *Volume Invarianza idraulica* delle superfici relative al depuratore e alla sua viabilità di accesso;
- *Volume Salvaguardia idraulica* al fine di mitigare le criticità dovute alla risposta idraulica del reticolo idrografico delle aree circostanti. Il volume è stimato moltiplicando il valore di cinque volte la portata nera in ingresso all'impianto di depurazione esistente (idl via di bottaia) per 48 ore.

La previsione di volumi di stoccaggio temporanei dei deflussi è l'unico modo per garantire l'invarianza idraulica delle trasformazioni; in questo modo è compensata, mediante un'azione laminante, l'accelerazione dei deflussi e la riduzione dell'infiltrazione che sono un effetto inevitabile di ogni trasformazione di uso del suolo da non-urbano ad urbano.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

3.1 Volume di compenso Tr200

Si riporta di seguito il calcolo del volume necessario per compensare la costruzione di tutti i comparti del nuovo impianto di depurazione.

Volume di compenso Tr 200 anni

Superfici

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Totale area depuratore | 9000,00 mq |
| Strada di accesso al depuratore | 1850,00 mq |
| Stot | 10850,00 mq |
| HTr200 | 0,3 m |
| Vcompenso | 3255,00 mc |

3.2 Volume Invarianza idraulica

A tale volume deve essere aggiunto il volume in grado di garantire l'invarianza idraulica dell'area.

Si riportano di seguito le superfici interessate dalla trasformazione:

Superficie futura strada 1850,00 mq

Superficie futura depuratore 9000,00 mq

Stot 10850,00 mq

Per il calcolo dei deflussi in stato attuale e di progetto, le superfici sono state suddivise adottando il seguente criterio:

- Superfici a verde: coefficiente di deflusso $\phi = 0,25$:
- Superfici in autobloccanti e semi- Superfici permeabili: coefficiente di deflusso $\phi = 0,5$;
- Superfici pavimentate, tetti, viabilità e aree impermeabili: coefficiente di deflusso $\phi = 0,9$.

Alla nuova strada in progetto, con superficie totale impermeabile, è stato associato un $\phi_{med} = 0,9$ mentre la superficie del depuratore è stata suddivisa nelle seguenti aree a differente permeabilità, a cui è associato un $\phi_{med} \sim 0,69$:

Depuratore

Tot perm ($\phi_{perm} = 0,25$) 2870,22 mq

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Tot impermeabile($\phi_{\text{imper}}=0,9$) 6006,75 mq

Tot semi-permeabile($\phi_{\text{imper}}=0,5$) 123,03 mq

Il coefficiente di deflusso medio dell'intera area interessata dalla trasformazione (strada+depuratore) è pari a $\phi_{\text{med}}=0,72$.

Si esegue il dimensionamento dei volumi di invaso a servizio del comparto, con metodologia proposta dall'**Autorità di Bacino del Fiume Arno**, considerando un evento pluviometrico caratterizzato dalla durata di 1 ora ed avente intensità di pioggia pari a 60 mm/h.

Si ottiene la portata in entrata all'interno della vasca di compenso Q_e :

$$Q_e(l/s) = \phi_{\text{med}} i S$$

Dove:

ϕ_{med} =coefficiente di deflusso medio strada-depuratore, considerato pari a 0,72;

i =intensità di pioggia;

S =superficie interessata dalla trasformazione.

La porta in uscita dalla vasca di compenso, Q_u , deve essere pari alla condizioni ante-operam considerando la medesima intensità di pioggia con $\phi=0,25$:

$$Q_u(l/s) = \phi i S$$

Dove:

ϕ =coefficiente di deflusso, pari a 0,25;

i =intensità di pioggia;

S =superficie interessata dalla trasformazione.

Nel rispetto del limite allo scarico di cui al punto precedente, si calcola la capienza della vasca di compenso. Le dimensioni finali della vasca, approssimate per eccesso, possono essere scelte arbitrariamente, ma in modo tale da contenere completamente il volume d'acqua calcolato:

$$V (mc) = V_e - V_u$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Si ottiene:

calcolo volume di compenso(ADB)

| | |
|--------------------|------------------|
| i | 60,00 mm/h |
| ϕ ante operam | 0,25 |
| Qu | 45,21 l/s |
| ϕ post operam | 0,72 |
| Qe | 130,84 l/s |
| Ue (l/sha) | 120,59 l/sha |
| W | 308,26 mc |

Il dimensionamento dei volumi di invaso a servizio del comparto viene anche eseguito secondo la metodologia proposta da **Moriggi e Zampaglione** (1978) e ritrovabile nella letteratura scientifica nazionale, considerando un tempo di ritorno pari a 100 anni associato alla curva di possibilità pluviometrica della stazione di Pontelungo ($h=66.227t^{0.33339}$, Regione Toscana Agg.2012)

Tale metodo si basa sull'individuazione del tempo critico della vasca:

$$t_v = \frac{1}{C} \cdot \left[\frac{Q_u}{\phi \cdot n \cdot a \cdot S} \right]^{\frac{1}{n-1}}$$

dove:

t_v =tempo critico della vasca;

C =coefficiente legato al rapporto di laminazione m e all'esponente n della curva di possibilità pluviometrica dato da:

$$C = \frac{0,165 \cdot n}{1/m + 0,01} - \frac{1/m - 0,1}{30} + 0,5$$

Qu max= portata massima scaricabile;

ϕ =coefficiente di afflusso;

n, a =coefficienti della curva di possibilità pluviometrica;

A =area totale trasformazione;

m= rapporto di laminazione (rapporto tra la portata di progetto in arrivo all'interno della vasca e la massima portata che può essere restituita).

da cui si ricava il volume delle vasche con l'espressione:

$$W = \phi \cdot a \cdot t_v^n \cdot S \cdot \left[0,95 - (1/m)^{2/3} \right]^{3/2}$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Si ottiene:

calcolo vasca di compenso (Moriggi e Zampaglione)

| | |
|-----------|--------------------------|
| tv | 1,70 h |
| C | 0,65 |
| m (Qe/Qu) | 2,89 |
| n | 0,3334 |
| a | 66,227 mm/h ⁿ |
| S | 10850,00 mq |
| Qu | 0,045 mc/s |
| Qe | 0,131 mc/s |
| W | 192,07 mc |
| φmed | 0,72 |

Di progetto si assume il volume ottenuto per garantire l'invarianza idraulica con metodologia ADB pari a V=308,26 mc.

3.3 Volume Salvaguardia idraulica

Viene ora valutato il contributo di invarianza idraulica al fine di mitigare le criticità dovute alla risposta idraulica del reticolo idrografico delle aree circostanti. Il volume è stimato moltiplicando il valore di cinque volte la portata nera in ingresso all'impianto di depurazione esistente (idl via di bottaia) per 48 ore.

Analisi portate in ingresso IDL Bottegone

| | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Portata media attuale | 1000,00 mc/g |
| Portata media attuale | 41,67 mc/h |
| 5 volte portata media attuale | 208,33 mc/h |
| Volume salvaguardia (5Qmx48) | 10000,00 mc |

3.4 Volume di compenso definitivo

Si realizzerà pertanto una cassa di compensazione in terra con volume totale pari alla somma dei contributi descritti nei paragrafi precedenti:

La vasca avrà altezza utile circa 1,10 m (dislivello fondo vasca – quota ingresso soglia).

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

| | |
|---|--------------------|
| Volume di compenso Tr 200 anni | 3255,00 mc |
| Invarianza idraulica (ADB) | 308,26 mc |
| Salvaguardia idraulica | 10000,00 mc |
| <i>V_{tot}</i> | 13563,26 mc |
| H utile vasca | 1,1 m |
| <i>Superficie compenso necessaria minima</i> | 12330,24 mq |

Il volume di compensazione deve essere 13563,26 mc; ipotizzando un'altezza utile dello stesso pari a 1,1 m, si ottiene una superficie minima di 12330,24 mq.

Come è possibile osservare nelle tavole progettuali, le aree adibite al volume di compenso sono due, per un volume totale di 13565 mc ed una superficie occupata di 12333 mq.

La quota perimetrale delle due vasche di compenso è 30 cm maggiore (41,38 m.s.l.m.) rispetto a quella della sommità arginale del fosso dogaia dei quadrelli (41,08 m.s.l.m.) come condiviso con il Genio Civile settore Idraulica Regione Toscana.

Considerando la quota argine del fosso Quadrelli in corrispondenza della sezione di ingresso alla vasca pari a 41,08 m.s.l.m, la massima capacità di invaso della vasca di compenso è pari a circa 25035 mc.

Sono previste delle rampe di accesso alle arginature della vasca di compenso ai fini di agevolare la manutenzione della stessa vasca.

Nelle planimetrie di progetto sono riportate le sezioni relative.

Le vasche sono collegate tra di loro ed il loro svuotamento avverrà a gravità tramite una tubazione DN250 dotata di clapet nel Fosso Dogaia dei Quadrelli.

Per il dimensionamento della tubazione di uscita, si individua la coppia battente – diametro che genera una portata nel tubo a sezione piena (in pressione) non superiore a quella ricevibile dal terreno in condizione ordinarie:

$$Q(mc/s) = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Dove:

$\mu=0,61$, coefficiente di efflusso;

A= area della bocca di efflusso;

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

h = carico idraulico sulla bocca di efflusso.

Il battente coincide con il dislivello del pelo libero della vasca piena e la quota della tubazione.

Si ritiene ammissibile garantire una portata in uscita considerando un coefficiente udometrico pari a 20 l/s*ha (Consorzio di Bonifica Emilia Romagna).

$$Q = Q_{agr} = 20 \text{ l/sec} \cdot h_a = 26,64 \text{ l/s}$$

$$h \approx 1 \text{ m}$$

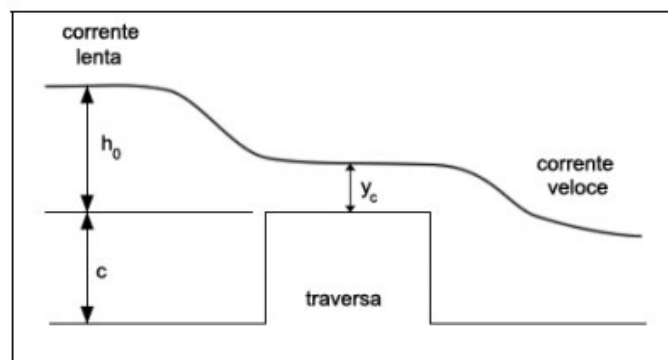
Da cui risulta, svolgendo i calcoli, un diametro pari a 112,24 mm.

Si adotta una tubazione di scarico PVC DN 250 parzializzata tramite una paratoia con grado di apertura del 40% circa.

3.5 Dimensionamento sfioratore

Lo sfioro all'interno della vasca di compenso di progetto è garantito da una canala con soletta armata per carichi pesanti, di dimensioni interne 1,20x0,30 m.

La portata smaltibile Q è stata stimata con il calcolo dello stramazzo del tipo a parete grossa, data la ridotta lunghezza della finestra laterale.



La formula della portata di questo tipo di stramazzo è:

$$Q = C_q b h_0 \sqrt{2 g h_0}$$

dove b è la lunghezza della soglia sfiorante, e $C_q = 0.385$.

L'altezza di acqua h_0 coincide con l'altezza d'acqua all'interno del Fosso Dogaia dei Quadrelli sopra soglia.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

4 Analisi idraulica Fosso Dogaia dei Quadrelli – HEC HMS

Il Fosso Dogaia dei Quadrelli, lungo in totale circa 10 km, inizia circa 6,07 km a monte dello scarico del depuratore in progetto ed è un affluente del Torrente Ombrone.

Di seguito si riporta planimetria estratta dal Reticolo idrografico e di gestione Regione Toscana, con aggiornamento DGRT 1357/2017

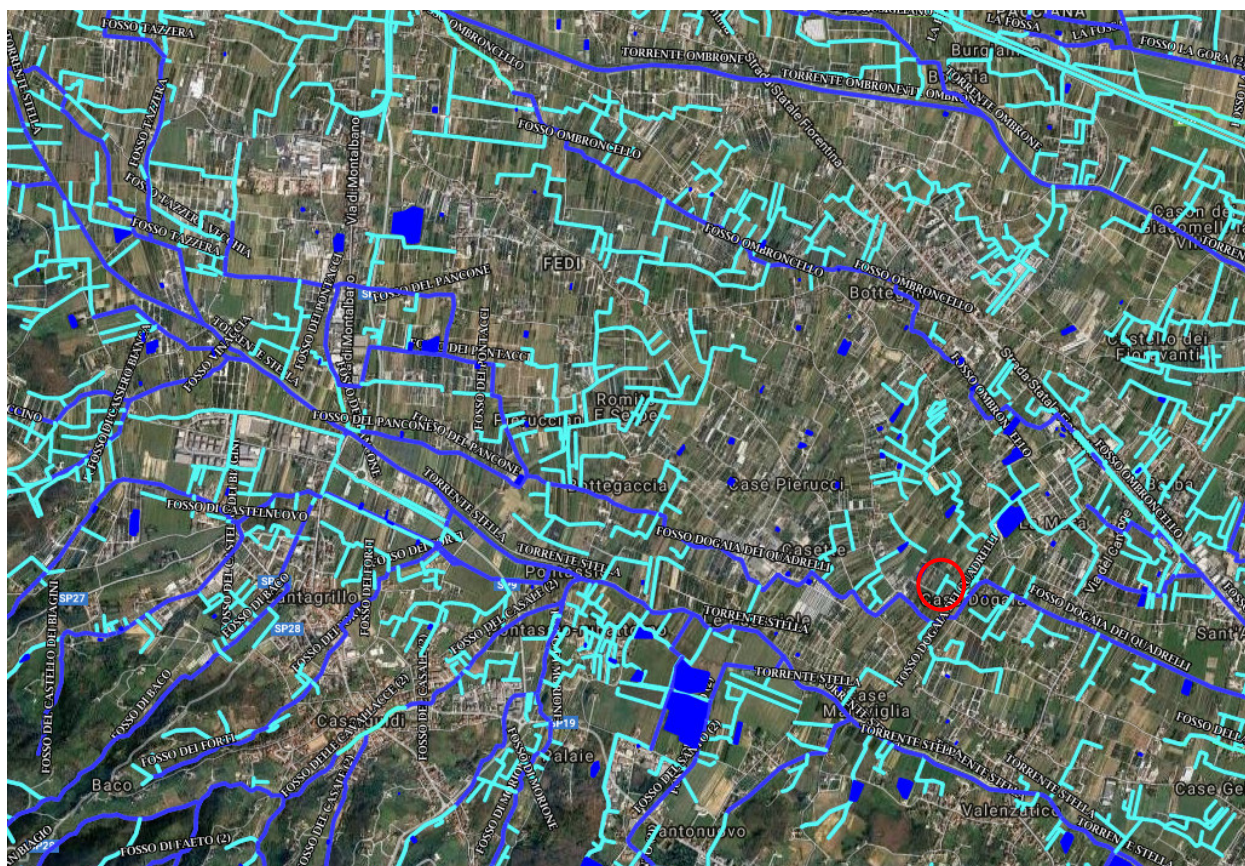


Figura 2 - Fosso Dogaia dei Quadrelli

Specchi d'acqua

Area Bagnata

Reticolo irriguo 2017

Reticolo irriguo

Reticolo di gestione LR 79/2012 aggiornato con DGRT 1357/2017

Tratto in gestione

Tratto non in gestione

Reticolo idrografico LR 79/2012 aggiornato con DGRT 1357/2017

SI

NO (ALTRO RETICOLO)

TOMBATO

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

In prossimità dello scarico del Depuratore di progetto, la sezione del Fosso Dogaia dei Quadrelli può essere assimilata ad una sezione trapezoidale larga circa 2,20 metri e alta circa 2,23. Di seguito se ne riporta una schematizzazione:

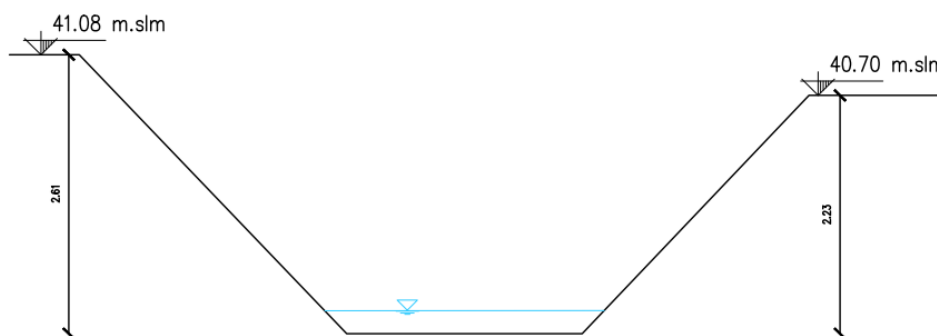


Figura 3 - Sezione Fosso Dogaia dei Quadrelli in prossimità dello scarico del depuratore

Si effettua di seguito la verifica idraulica del fosso considerando una pendenza media rilevata $i_f=6.5\%$ ed un coefficiente di Gaugler-Strikler pari ad $c = 35 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (CANALI IN TERRA) mediante l'utilizzo della Formula di Chezy:

$$Q_{\max} = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot J} \text{ mc/sec}$$

Dove:

$R=A_0/P_0$ raggio idraulico (m)

J = pendenza del fondo

$$\chi = c \cdot R^{1/6}$$

Con tale sezione si osserva ad un'altezza di acqua di circa 11 cm (altezza minima media rilevata al tempo estivo, corrisponde una portata di 0,158 mc/s.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

| SEZIONE TRAPEZIA O RETTANGOLARE | | | | | |
|---------------------------------|------------------|---|-----------------------|------------------|------------------|
| Dati della sezione | | | | | |
| H= | 223 | cm | (Altezza sezione) | | |
| b= | 220 | cm | (Base minore sezione) | | |
| B= | 640 | cm | (Base maggiore) | | |
| Angolo | 43.30227 | gradi | | | |
| Area= | 9.59 | mq | | | |
| Pendenza | 0.65 | % | | | |
| K | 35 | Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler | | | |
| Portata di progetto | | | mc/sec | | |
| | | | | | |
| H defl (cm) | Contorno bagnato | Area deflusso (mq) | Raggio idraulico | Portata (mc/sec) | Velocità (m/sec) |
| 11.15 | 250.64 | 0.257 | 0.103 | 0.158888 | 0.6182 |
| 22.3 | 281.29 | 0.537 | 0.191 | 0.503128 | 0.93611 |
| 33.45 | 311.93 | 0.841 | 0.270 | 0.991095 | 1.17798 |
| 44.6 | 342.57 | 1.169 | 0.341 | 1.610055 | 1.37769 |
| 55.75 | 373.21 | 1.519 | 0.407 | 2.355119 | 1.55002 |
| 66.9 | 403.86 | 1.894 | 0.469 | 3.224917 | 1.70307 |
| 78.05 | 434.50 | 2.291 | 0.527 | 4.219946 | 1.8418 |

Al fine di simulare i processi di precipitazione e di deflusso del bacino idrografico del Fosso Dogaia dei Quadrelli è utilizzato il software HEC-HMS, il sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Engineering Center, integrato con i dati idrologici presenti in ALTO, modello sviluppato dall'Università di Firenze.

HEC-HMS è progettato per simulare i processi di scorrimento superficiale dovuti a precipitazioni in sistemi delimitati di spartiacque.

Il metodo utilizzato per la simulazione dello scorrimento idrico superficiale è il modello di trasformazione afflussi – deflussi, che si basa sullo studio dei processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica. La precipitazione, prima di raggiungere il terreno, viene parzialmente intercettata dalla vegetazione e dagli invasi, mentre parte raggiunge il suolo. La componente intercettata è soggetta a parziale evaporazione. Una parte della precipitazione che giunge in terra si infila nel terreno ed un'altra ruscella sulla superficie (deflusso superficiale).

Nel bilancio idrologico riferito al sistema bacino si considerano quindi come ingressi gli afflussi meteorici (P), come perdite quelle dovute all'infiltrazione (I) e all'evapotraspirazione potenziale (ET_p), e come uscite le portate di deflusso alla sezione di chiusura (Q):

$$Q = P - I - ET_p$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Il software HEC-HMS permette di valutare la perdita per evapotraspirazione (ET_p) facendo riferimento a valori medi mensili. La perdita per evotraspirazione, trattandosi di un bacino di ridotte dimensioni, è stata trascurata.

L'intervallo di simulazione è l'intero anno 2016.

Il bacino del Fosso Dogaia dei Quadrelli, considerando come sezione di chiusura lo scarico del depuratore di progetto, ha un'area di circa 684,72 ha; di seguito riportata graficamente:

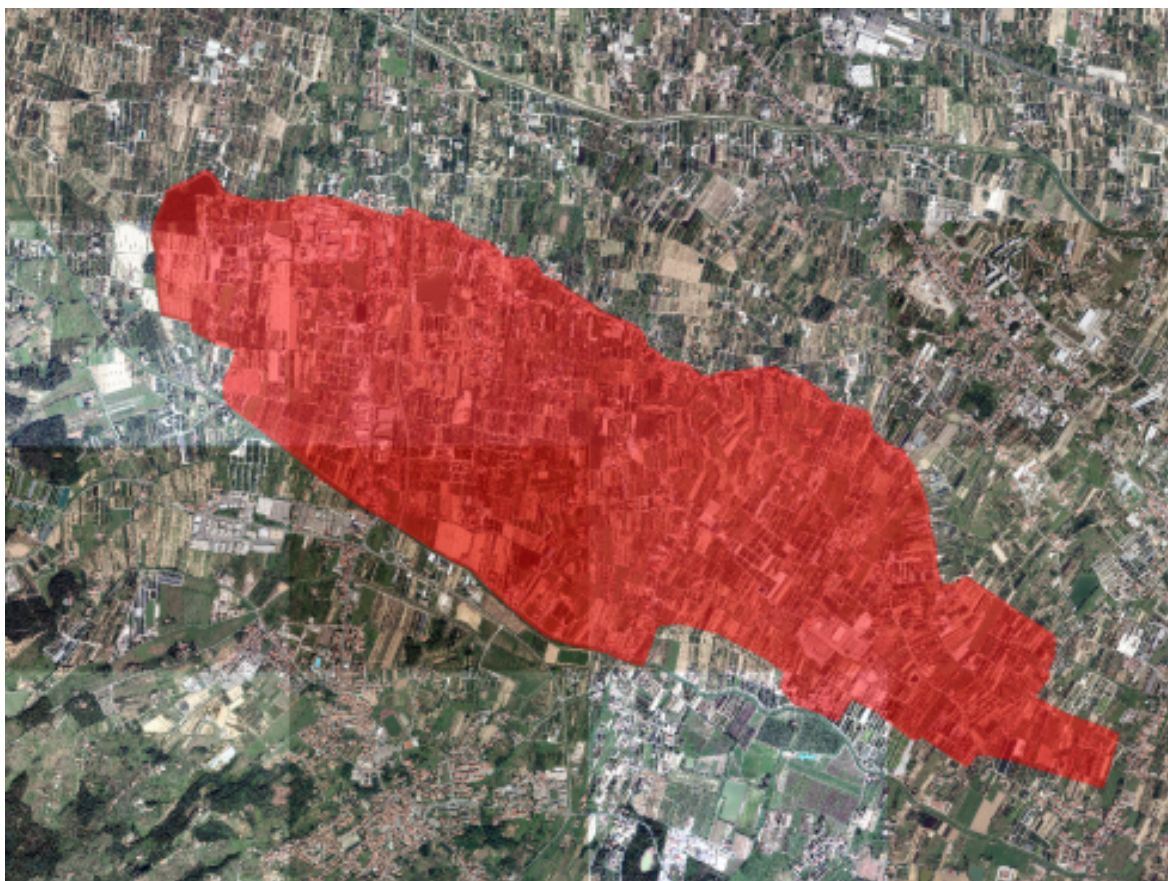


Figura 4 - Bacino del Fosso Dogaia dei Quadrelli

Per la determinazione della superficie impermeabile interna al bacino, è stata analizzata la tipologia di aree presenti al suo interno utilizzando l'Uso e Copertura del Suolo (UCS) della Regione Toscana, rilasciato in formato informatico QGIS.

Il catalogo delle varie classi presenti fa riferimento per le voci di legenda di III livello al sistema europeo di mappatura dell'uso e copertura del suolo del progetto CORINE Land Cover (CLC) [CLC2006, 2006], integrato da un IV livello regionale. Di seguito si riporta estratto di mappa del bacino.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

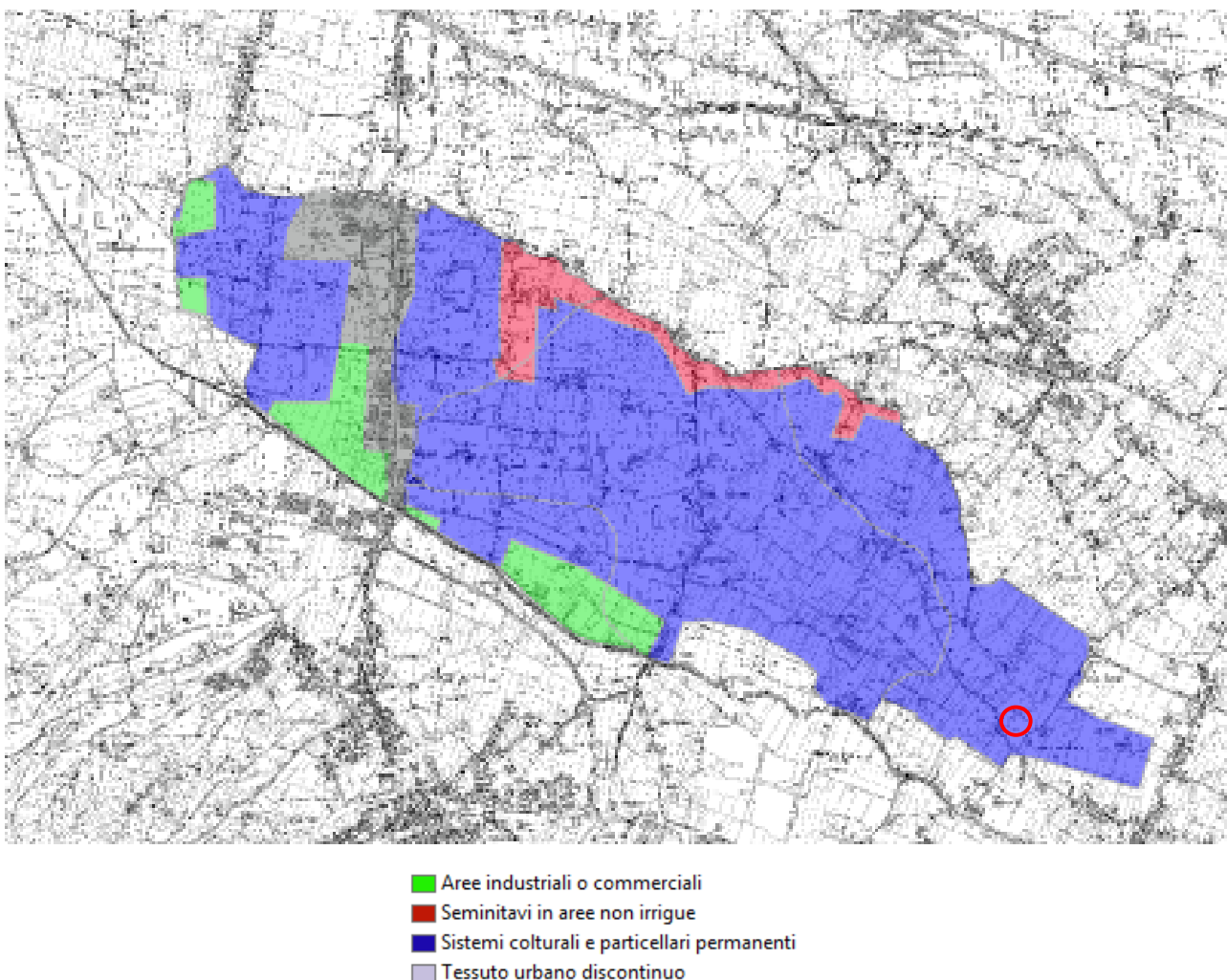


Figura 5 - Uso del suolo bacino Fosso Dogaia dei Quadrelli

| Uso del suolo | Area [mq] | % |
|---|--------------|--------|
| Tessuto urbano discontinuo | 374 593.34 | 5.47% |
| Aree industriali o commerciali | 481 661.12 | 7.03% |
| Seminativi in aree non irrigue | 5 452 002.21 | 79.62% |
| Sistemi colturali e particellari permanenti | 538 905.62 | 7.87% |

Tot 6 847 162.29

I dati metereologici sono stati estratti dal Centro Funzionale di Monitoraggio Meteo Idrologico – Idraulico – Settore Idrologico Regionale e sono relativi alla stazione metereologica Pontelungo (quota 65,68 m slm, Pistoia) nell’anno 2016. Nella tabella seguente è riportata la quantità di precipitazione caduta nelle 24 ore comprese fra le ore 9 del giorno precedente e le ore 9 del giorno di cui si tratta.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

| | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | - | 6.2 | 13.2 | - | 10.4 | 0.2 | - | - | 3.0 | - | - | - |
| 2 | 5.2 | 0.8 | - | - | - | 6.2 | - | - | - | 11.2 | 4.8 | - |
| 3 | 43.2 | 1.4 | 29.2 | - | - | 4.8 | - | - | - | 1.0 | 13.8 | - |
| 4 | 15.6 | 3.2 | - | - | 3.6 | 0.8 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 9.6 | - | 0.4 | - | - | 2.2 | - | 0.2 | - | - | 11.6 | - |
| 6 | 14.8 | - | 22.0 | - | - | - | - | 11.4 | - | 1.6 | 72.4 | 0.2 |
| 7 | 0.2 | 6.4 | 8.6 | - | - | - | 1.6 | - | 1.6 | - | 13.0 | - |
| 8 | 6.0 | 19.0 | 16.8 | - | - | - | - | - | - | - | 0.4 | - |
| 9 | 6.4 | 3.0 | 7.0 | - | - | 0.2 | - | - | - | 12.6 | 1.0 | - |
| 10 | 10.2 | 27.0 | - | - | 0.2 | 2.2 | - | - | - | - | 9.0 | - |
| 11 | 0.8 | 0.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.8 | - |
| 12 | 4.6 | 22.0 | - | - | 25.4 | - | - | - | - | - | 13.8 | - |
| 13 | - | 13.0 | - | - | 4.8 | 7.6 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 3.2 | 22.6 | - | - | 16.6 | 0.6 | - | - | - | 18.0 | - | - |
| 15 | 44.8 | 16.2 | - | - | 0.4 | 2.8 | - | - | - | 36.2 | - | - |
| 16 | 0.2 | 37.2 | - | - | 6.6 | - | - | - | 62.0 | - | - | - |
| 17 | - | 11.0 | - | - | 4.0 | 4.2 | - | - | 49.0 | - | - | 0.2 |
| 18 | - | 0.4 | - | - | - | - | - | - | 3.0 | - | 8.0 | - |
| 19 | - | 2.4 | - | - | 9.0 | - | - | 7.4 | - | 2.4 | 55.6 | - |
| 20 | - | 8.0 | - | - | 3.0 | 0.2 | - | - | - | 2.0 | 10.6 | - |
| 21 | - | 0.2 | 3.4 | - | - | - | - | - | - | 2.0 | 0.6 | 6.8 |
| 22 | - | - | 0.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 23 | - | 13.2 | - | 6.6 | 0.6 | - | 0.6 | - | - | - | - | - |
| 24 | - | 0.4 | - | 24.2 | 8.4 | - | 0.6 | - | - | 1.0 | - | 0.2 |
| 25 | 0.2 | 4.8 | - | 12.6 | - | - | - | - | - | 0.2 | 14.0 | 0.2 |
| 26 | - | 7.2 | - | 0.6 | - | - | 9.2 | - | - | - | - | 0.2 |
| 27 | - | 8.0 | - | 2.4 | - | - | - | - | - | 32.2 | - | 0.2 |
| 28 | 2.8 | 26.0 | 2.6 | - | - | - | 0.4 | - | - | - | 0.2 | 0.2 |
| 29 | 0.4 | 15.2 | 2.8 | - | 0.2 | - | - | - | - | - | 0.2 | 0.2 |
| 30 | 6.6 | | - | - | 14.0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 31 | 3.8 | | - | | - | | - | 3.0 | | - | | - |
| tot | 178.6 | 275 | 106.4 | 46.4 | 107.2 | 32 | 12.4 | 22 | 118.6 | 120.4 | 229.8 | 8.4 |
| gg | 14 | 21 | 9 | 4 | 11 | 7 | 2 | 3 | 5 | 11 | 12 | 1 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

I risultati HEC-HMS relativi alla piovosità sono:

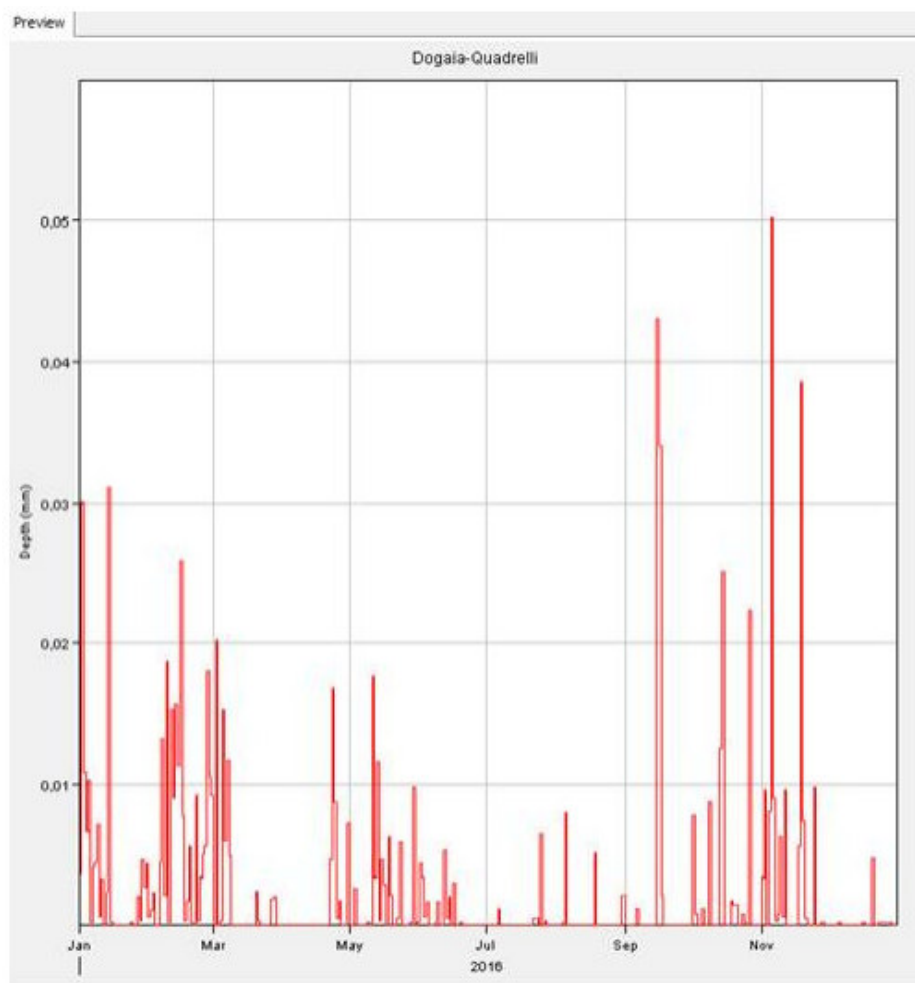


Figura 6 - Precipitazioni 2016 Stazione Pontelungo

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

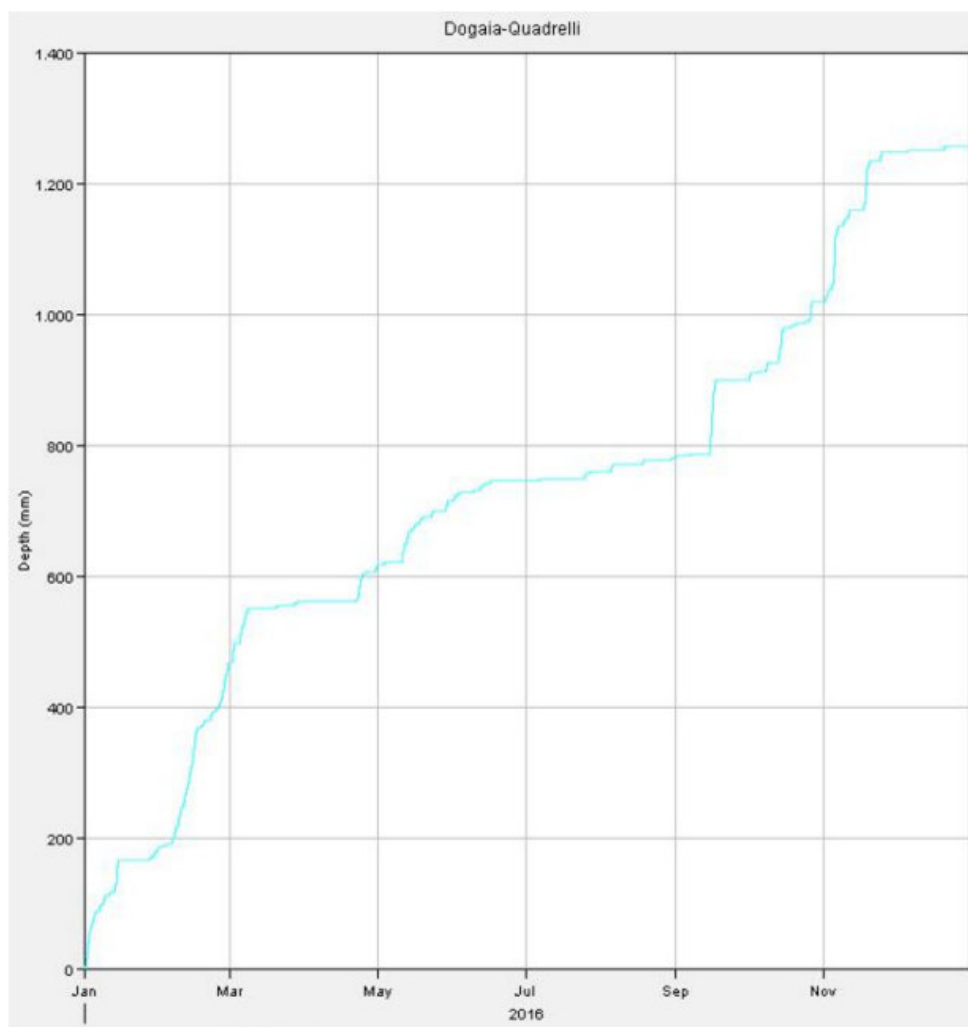


Figura 7 – Cumulata 2016 Stazione Pontelungo

Per il calcolo della pioggia efficace e lo sviluppo del modello di piena, è stato utilizzato il metodo della perdita iniziale e costante (Initial e Constant), con la simulazione delle perdite dovute all'infiltrazione e/o evaporazione. Il calcolo del deflusso necessita del calcolo della pioggia netta che in ALTO è condotto con un semplice modello di infiltrazione caratterizzato da due parametri: il volume di suolo non saturo all'inizio dell'evento, perdita iniziale o Initial Loss (indicata con I_a), che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante iniziale dell'evento $t = 0$ sino all'istante $t = t_a$), e la perdita durante l'evento (Constant Rate) che viene schematizzata con una infiltrazione costante a saturazione (indicata con K_s):

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

$$\text{se } t < t_a \begin{cases} Ia(t) = Ia - \int_0^t (P(\tau) - K_s) d\tau \\ Pn(t) = 0 \end{cases}$$

$$\text{se } t \geq t_a \begin{cases} Ia(t) = 0 \\ Pn(t) = P(t) - K_s \end{cases}$$

dove:

$P(t)$ intensità di precipitazione ragguagliata sul bacino [mm/h];

$Pn(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$Ia(t)$ perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];

$Ia=Ia(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

K_s = velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

Sono stati inseriti i valori relativi a *Bardena, Fosso Dogaia e Fosso Iolo*

- $Ia=16,28$ mm;
- $K_s=0$ mm/h.

Per la determinazione della formazione dell'onda di piena a partire dai valori di pioggia netta al suolo si utilizza l'idrogramma unitario di Clark. Tale modello tiene conto dell'effetto di propagazione e di laminazione a cui è sottoposto il deflusso superficiale quando si sposta attraverso il bacino per arrivare alla sezione di chiusura. E' un modello lineare e integrato che si basa su due parametri:

- *Time of Concentration* K [h] (tempo impiegato dalla particella più lontana dalla sezione di chiusura per raggiungere la stessa), stimato pari a 0,30 h;
- *Storage Coefficient* TL [h] (tiene conto dell'effetto di immagazzinamento temporaneo, schematizzando un serbatoio lineare), stimato pari a 0,75 h.

Questi due coefficienti sono stati ricavati dal modello di regionalizzazione delle portate di piena ALTO, e sono relativi a *Bardena, Fosso Dogaia e Fosso Iolo*.

Nel modello non si è tenuto conto della ricarica idrica del fosso operata dalla falda (base flow) e dalle eventuali interazioni del sistema acque basse circostante.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Di seguito sono riportati i risultati della simulazione:

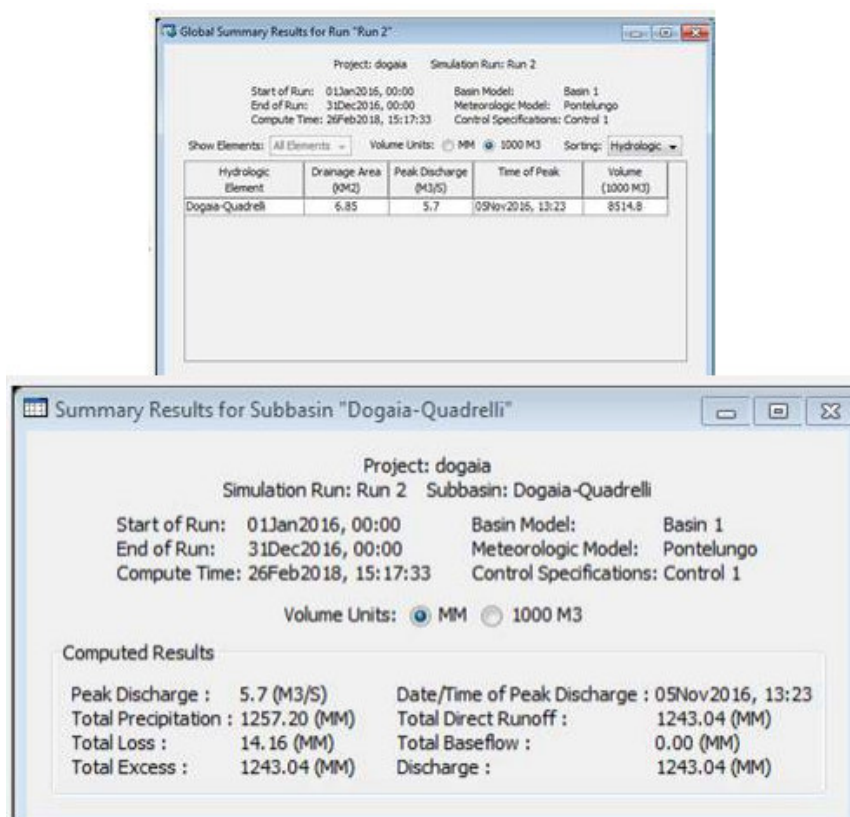


Tabella 1 – Risultati modello HEC-HMS

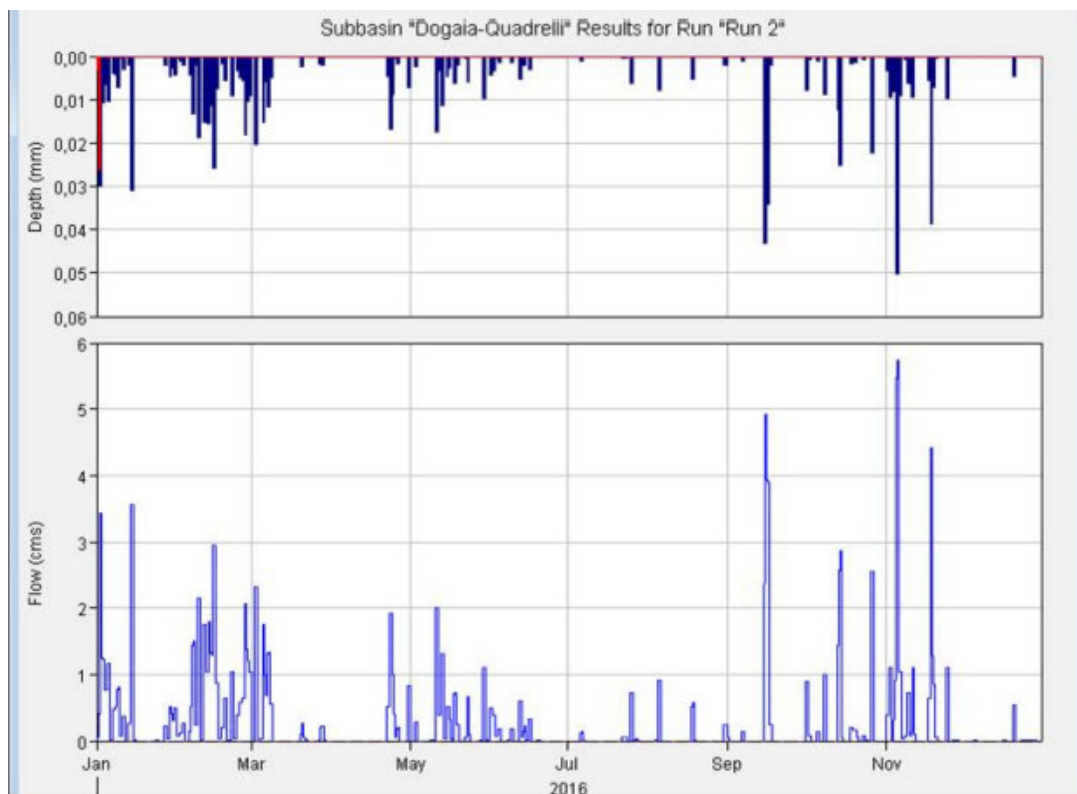


Figura 8 – Risultati modello HEC-HMS

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

La portata media nera in uscita dal depuratore di progetto è 27 l/s (100 mc/h).

Tale valore risulta compatibile con le portate transitanti nel Fosso Dogaia dei Quadrelli alla sezione di chiusura stimate dal modello. In particolare si osserva che ad un'altezza di acqua di circa 11 cm (altezza media minima del periodo estivo) corrisponde una portata di 158 l/s.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Dall'elaborazione dei dati relativi alle concentrazioni di nutrienti e DO delle stazioni di Monitoraggio di Arpat di seguito riportate si evince che il fosso Dogaia detiene uno stato chimico non buono.

| PARAMETRO | MAS-512 TORRENTE BRANA | MAS-130 TORRENTE OMBRONE POGGIO A CAIANO | MAS-VP2 DOGAIA DEI QUADRELLI PONTE AL FOSSO |
|---|------------------------------|--|---|
| RICHIESTA CHIMICA DI OSSIGENO (COD - COME O ₂) - mg/L | 14.76 | 24.06 | 25.42 |
| RICHIESTA BIOCHIMICA DI OSSIGENO (BOD ₅ - COME O ₂) - mg/L | 3.39 | 4.53 | 4.67 |
| AZOTO AMMONIACALE (COME N) - mg/L | 0.68 | 0.99 | 1.77 |
| AZOTO NITRICO (COME N) - mg/L | 2.86 | 2.8 | 4.05 |
| AZOTO NITROSO (COME N) - mg/L | 0.22 | 0.35 | 0.33 |
| AZOTO TOTALE - mg/LN | 4.83 | 5.53 | 7.55 |
| OSSIGENO DISCIOLTO - mg/L | 9.73 | 6.48 | 6.21 |

| 2017 | MAS-512 TORRENTE BRANA | MAS-130 TORRENTE OMBRONE POGGIO A CAIANO | MAS-VP2 DOGAIA DEI QUADRELLI PONTE AL FOSSO |
|-----------------|------------------------------|--|---|
| STATO CHIMICO | NON BUONO | NON BUONO | NON BUONO |
| STATO ECOLOGICO | SCARSO | SCARSO | - |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



Figura 9 – Stazioni di monitoraggio

La realizzazione del Nuovo depuratore con tecnologie di trattamento reflui di ultima generazione permetterà di migliorare la qualità dello scarico in termini di rimozione dei nutrienti.

Si ricorda inoltre che in progetto è prevista l'installazione di un sistema di filtrazione terziaria con spaziatura 10 micron che sarà in grado di garantire allo scarico un minimo contenuti di solidi sospesi anche in caso di sovraccarichi idraulici in ingresso al depuratore.

E' in corso di stesura il progetto definitivo di risanamento fognario dell'area di Bottegone con realizzazione di nuovi collettori fognari al fine di garantire il collettamento di aree ad oggi non servite dal SII ed alleggerire idraulicamente alcuni tratti esistenti. Tali interventi consentiranno di ridurre l'immissione diretta in ambiente di reflui civili e pertanto di contribuire al miglioramento della qualità del sistema idrico dell'area.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

5 Sistemazione e verifica reticolo idrografico

5.1 Inquadramento e stato attuale

Il rilievo planoaltimetrico e l'estrazione dei rilievi Lidar del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare in scala 1:2.000 dell'area di futura occupazione del Depuratore Bottegone ha evidenziato la presenza di alcuni fossi appartenenti al reticolo fluviale ed altri a destinazione irrigua.



Figura 10-Estrazione dal Lidar dell'area di futura occupazione del Depuratore

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



Figura 11-Estrazione dalla planimetria stato attuale reticolo all'interno dell'area

Si riporta di seguito un estratto della variante al Regolamento Urbanistico datata 18/05/2018 a cura del Comune di Pistoia.

Nelle condizioni attuali il deflusso dell'area di interesse è a carico di quattro capofossi afferenti al Fosso Dogaia (vedi Fig. 1). Il loro tracciato risulta affetto da anomalie riconducibili probabilmente ad antiche suddivisioni di proprietà che oggi hanno perso qualsiasi significato; tutta l'area, intensamente coltivata a vivaio in pieno campo, è interessata da una fitta rete di fosse campestri il cui andamento verso l'uno o l'altro capofosso può essere determinato di volta in volta dai proprietari dei fondi durante le pratiche di "affossamento" estivo sulla base di esigenze specifiche legate alla conduzione dei fondi.

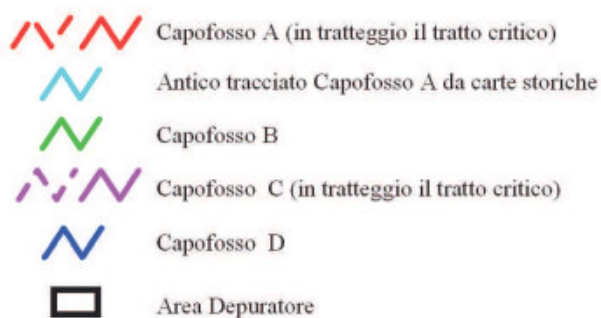
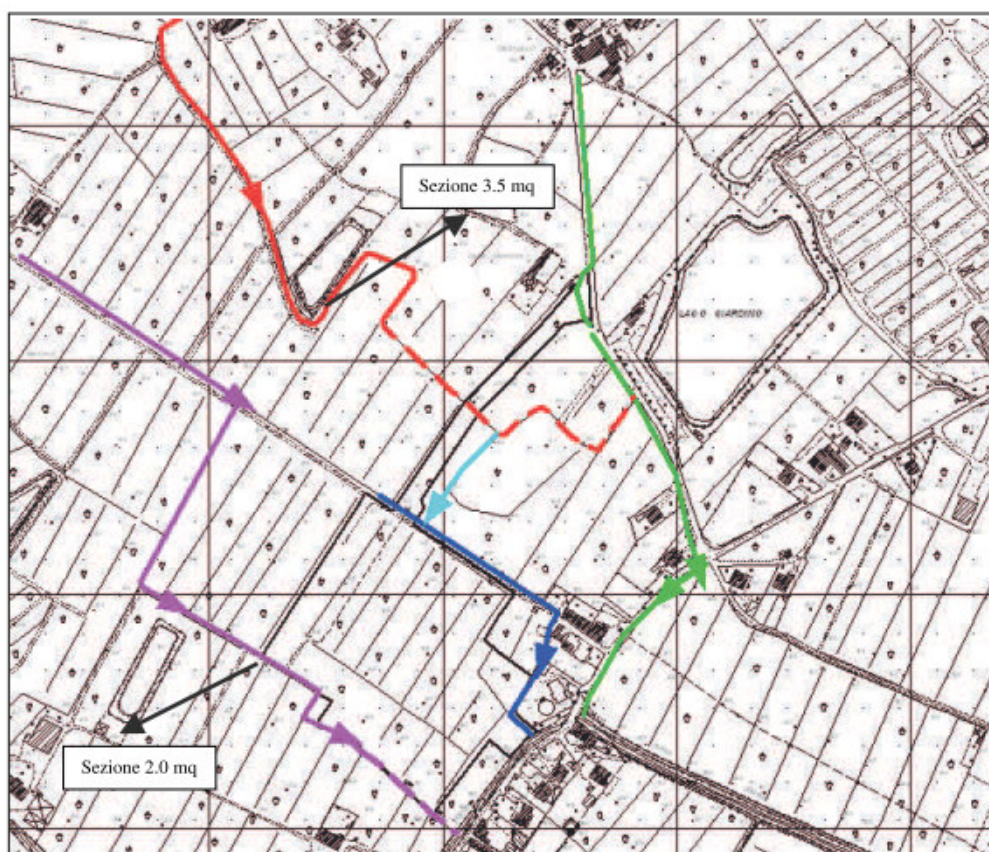
Sistema Capofossi A e B

Il capofosso A ha origine a sud di San Sebastiano e drena la porzione settentrionale dell'area di interesse; nel tratto più a monte presenta una sezione considerevole (circa 3.5 mq), mentre procedendo verso valle la sua sezione si riduce drasticamente a meno della metà (segno tratteggiato in Fig. 1). Allo stato attuale confluisce nel Capofosso B, fosso di guardia della Via di San Sebastiano. Dato il restringimento della sezione, in occasione di piogge anche ordinarie, le zone afferenti al tratto critico del Capofosso risultano allagate con frequenza tale da non

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

essere utilizzabili nemmeno ai fini agricoli. Il ripristino del Capofosso A con sezioni idonee comporterebbe un aggravio considerevole nel Capofosso B; quest'ultimo infatti, con funzione originaria di fossa di guardia della Via di San Sebastiano, si trova oggi a ricevere le acque di corrivazione dell'intera urbanizzazione che si affaccia sulla via, con un incremento significativo rispetto alle sue condizioni originarie. In sintesi in occasione di piogge poco più che ordinarie anche questo fosso presenta criticità, con allagamenti delle abitazioni che lo fronteggiano.

Interessante notare come in alcune carte storiche sembra che il Capofosso A confluisse nel Capofosso D, con una maggiore efficienza data dalle quote più favorevoli (vedi tratto azzurro in Fig. 1).



| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Capofosso C

Drena la porzione sud occidentale dell'area e scarica direttamente sul Fosso Dogaia tramite portella. La sua sezione nel tratto di interesse è di circa mq 2.0 ma nella porzione terminale, coincidente con circa gli ultimi cento metri prima di immettersi nel Dogaia, la sezione subisce dei restringimenti; le pareti della fossa inoltre risultano troppo ripide e presentano instabilità localizzate. I restringimenti nella sezione sono responsabili di criticità che si verificano in occasione di eventi piovosi intensi.

Capofosso D

Raccoglie le acque residue che non vengono drenate dai Capofossi A, B e C. Entra all'interno dell'area dell'attuale depuratore e confluisce nel Dogaia tramite portella.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

5.2 Sistemazione fossi interni ed esterni all'area del depuratore

Data la criticità dell'area, si prevede la realizzazione di un nuovo tratto di capofosso che intercetterà il Capofosso A per condurlo verso il Capofosso C, da dove raggiungerà la portella di scarico sul Fosso Dogaia dei Quadrelli.

Il fosso sarà riprofilato e risagomato al fine di contenere le portate stimate con tempo di ritorno pari a TR30 anni afferenti al bacino Capofosso A+Capofosso C.

Si presenta di seguito l'analisi idrologico-idraulica al fine di stimare la portata corrispondente a TR30.

5.2.1 Dati pluviometrici

Per quanto riguarda l'analisi dei dati pluviometrici elaborate, è stata utilizzata la curva di possibilità pluviometrica ricavata Dipartimento di Ingegneria civile e Ambientale UNI FI nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, che ha provveduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012.

Le curve di probabilità pluviometrica, funzione del tempo di ritorno, sono espresse nella forma a due parametri del tipo

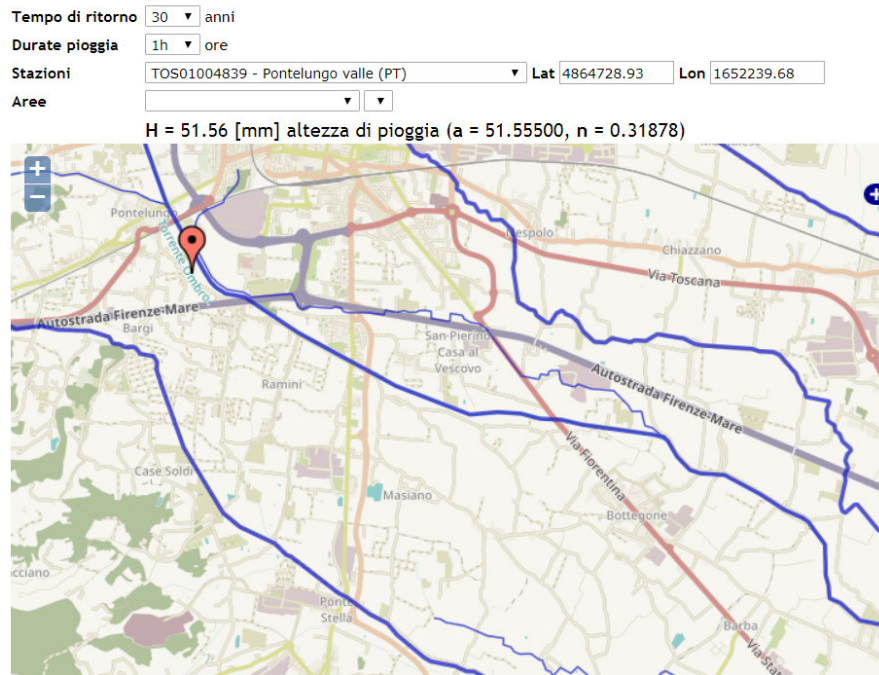
$$h = a \cdot t^n$$

Dove h è l'altezza di precipitazione in mm, t è la durata in ore e T_r è il tempo di ritorno in anni.

Per il progetto si è fatto riferimento alla stazione di **Pontelungo Valle (PT)**.

Di seguito si riporta la localizzazione ed i parametri utilizzati.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



Per il ragguaglio della precipitazione meteorica sperimentalmente si è osservato che negli eventi estremi, è probabile che proprio in corrispondenza della stazione di misura sia localizzato il centro della precipitazione e che quindi, aumentando la distanza, diminuiscano le altezze di pioggia connesse con durate parziali o con la durata totale.

Puppini, sulla base di un numero rilevante di osservazioni sperimentali, corregge i parametri a e n, valide per un 'area $S < 1300$ ha ed ottiene l'espressione delle curve di possibilità pluviometrica areali:

$$h_A(t) = a' t^{n'}$$

dove per a' e n' valgono le seguenti formule di ragguaglio:

$$a' = a \left[1 - 0,052 \left(\frac{S}{100} \right) + 0,002 \left(\frac{S}{100} \right)^2 \right]$$

$$n' = n + 0,0175 \cdot \left(\frac{S}{100} \right)$$

con S la superficie del bacino espressa in ha.

Si ottiene:

| S (ha) | fi | a | n | n0 | a' | n' |
|-----------|------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 47,32 | 0,14 | 51,555 | 0,3188 | 0,436 | 50,310 | 0,327 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

5.2.2 Coefficiente di afflusso

Per la determinazione della portata meteorica si è provveduto precedentemente alla determinazione del coefficiente di afflusso in fognatura, che rappresenta il rapporto tra il volume totale di deflusso di piena ed il volume totale di pioggia caduta nel bacino.



Figura 12 - Individuazione bacino Capofosso A+Capofosso C– nuovo tracciato

Per la sua determinazione si sono analizzate le tipologie di aree presenti all'interno del bacino, utilizzando l'Uso e Copertura del Suolo (UCS) della Regione Toscana, rilasciato in formato informatico QGIS. Il catalogo delle varie classi presenti fa riferimento per le voci di legenda di III livello al sistema europeo di mappatura dell'uso e copertura del suolo del progetto CORINE Land Cover (CLC) [CLC2006, 2006], integrato da un IV livello regionale.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Di seguito si riporta estratto di mappa del bacino.

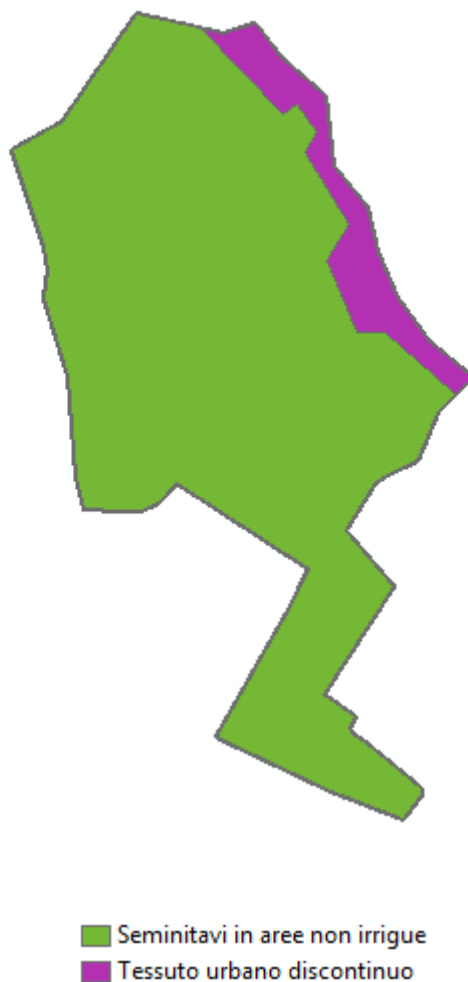


Figura 13 - Uso del suolo bacino Capofosso A+Capofosso C– nuovo tracciato

Si adotta un coefficiente di afflusso pari a $\Phi=0,14$

| Codice Corine | Descrizione | Area [mq] | ϕ |
|---------------|--------------------------------|-------------------|-------------|
| 112 | Tessuto urbano discontinuo | 37318.767 | 0.6 |
| 211 | Seminativi in aree non irrigue | 435864.29 | 0.1 |
| | | | |
| | Tot | 473,183.06 | 0.14 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

5.2.3 Calcolo portata meteorica

Metodo Invaso

Con il metodo italiano o metodo dell'invaso l'espressione del coefficiente udometrico è la seguente:

$$u = \left(\frac{K_c}{v_0} \right)^{\left(\frac{1-n_0}{n_0} \right)}$$

dove:

u = coefficiente udometrico [l/s ha]

$$K_c = \left(\frac{10 \cdot \phi \cdot a'}{\varepsilon \cdot 3,6^{n_0}} \right)^{\frac{1}{(1-n_0)}} \cdot \left(\frac{1}{\ln \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \right)} \right)$$

$$\varepsilon = 3,94 - 8,21n + 6,23n^2$$

$$n_o = \frac{4}{3} n'$$

n'=coefficiente curva di possibilità climatica
ragguagliata alla superficie del bacino

ϕ_{med} coefficiente di afflusso medio calcolato
con media ponderata sull'uso del suolo

$V_0 = V_s + V_c/S$ [mc] Volume specifico [m]

Vs volume piccoli invasi [m]

Vc volume dello speco + volume pozzetti e caditoie [mc]

$$V_c = V_s \cdot 0,33 \cdot S^{0,227}$$

S superficie scolante [mq]

$Q_j = u \cdot A$ [l/sec] Portata affluente

Si valutano conseguentemente calcolati i volumi di invaso dei singoli bacini tenuto conto della rete esistente.

Per i piccoli invasi costituiti da velo idrico superficiale, caditoie stradali, appendici reti private e ristagni in avvallamenti e zanelle si può adottare, considerata la superficie pianeggiante, un valore di $V_s = 35$ mc/h.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Metodo Corrinva

Il metodo di calcolo della corrivazione (c.d. metodo cinematico), si basa sostanzialmente sul concetto che gocce di pioggia cadute contemporaneamente su un bacino, impiegano tempi diversi per giungere alla sua sezione di chiusura, dal quale ne consegue l'esistenza di un tempo di "corrivazione" τ , caratteristico del bacino stesso, pari al tempo impiegato dalla goccia che cade nel punto più lontano, per il quale tutti i punti del bacino contribuiscono alla formazione del deflusso nella summenzionata sezione di riferimento. Esso, cioè, tiene conto soltanto del fenomeno del ritardo (inteso come tempo necessario al trasferimento dei volumi d'acqua meteorica che precipitano nei vari punti dell'area scolante, fino alla sezione di chiusura) e si basa sulle seguenti ipotesi suggerite da D. Turazza (1980):

- la formazione della piena è dovuta solo al trasferimento di volumi d'acqua all'interno del bacino scolante;
- ogni goccia di pioggia che cade sulla superficie del bacino segue un percorso invariabile nel tempo che dipende solo dal punto in cui essa è caduta (la corrivazione è legata solo al percorso più lungo e non risente dell'influenza dei tributi dei sotto- bacini nei singoli nodi della rete fognaria separata);
- la velocità con cui la goccia si muove, lungo la superficie del bacino, non è influenzata dalla presenza di altre gocce;
- la portata nella sezione di chiusura, in un dato istante, è data dalla somma delle portate elementari (validità del principio di sovrapposizione degli effetti), provenienti dalle diverse parti del bacino, che pervengono alla sezione di chiusura in quel istante.

Le suddette ipotesi, equivalgono ad assumere la linearità del modello cinematico dei deflussi e porta a far stimare che il ritardo di corrivazione eserciti, per le piogge di durata inferiore al tempo di corrivazione, un effetto moderatore nei confronti della massima portata che si avrebbe se potesse verificarsi la contribuzione simultanea dell'intero bacino scolante. Perciò, qualora in un progetto si ponesse la durata della pioggia t uguale al tempo di corrivazione τ , risulterebbe evanescente l'effetto del ritardo nella moderazione della portata.

L'altro effetto moderatore delle portate massime è costituito dall'invaso dell'acqua nei collettori di drenaggio, durante il loro graduale riempimento. Secondo tale concetto (c.d. invaso lineare), il comportamento del bacino è modellizzato attraverso un solo serbatoio lineare (la portata uscente, per la validità dell'equazione di continuità, è proporzionale al

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

volume invasato), ove viene del tutto trascurato il fenomeno del ritardo e dove, invece, sono valide le seguenti ipotesi suggerite da U. Puppini (1923), successivamente perfezionate da G. Supino (1929):

- il riempimento della rete è uniforme e contemporaneo (riempimento sincrono: i diversi tratti dei canali, raggiungono contemporaneamente il massimo valore del volume invasato);
- nei canali della rete si sviluppano, in modo autonomo, correnti di moto uniforme (sono esclusi, cioè, eventuali fenomeni di rigurgito indotti, sui singoli rami, da parte dei canali che seguono a valle);
- la precipitazione piovosa si realizza con un'intensità costante nel tempo e pari ad $i = h/t$ (ietogramma rettangolare);
- Il volume invasato è somma dell'aliquota dovuta al volume dei piccoli invasi (pozzanghere, velo d'acqua sulla superficie dell'area scolante, volumi contenuti nei pluviali, caditoie stradali, fognoli, eccetera) e del cosiddetto volume d'invaso proprio della rete (volume d'acqua occupato dalla corrente che defluisce, in condizioni di moto uniforme, all'interno del singolo collettore di determinata lunghezza).

L'approccio pratico, che conduce alla risoluzione di siffatto metodo è, essenzialmente, quello d'individuare il tempo critico di riempimento del bacino t_c , posto in legame diretto

con il parametro della capacità critica d'invaso $t_c = \frac{q \cdot A \cdot i}{Q}$ (G. Frega, 2002).

Se il tempo di riempimento della rete è inferiore alla durata della pioggia, la rete continua a riempirsi con il rischio di esondare se, altrimenti, il tempo di riempimento dei canali è maggiore della durata della pioggia, l'evento meteorico finisce prima che il sistema possa riempirsi. F. Marzolo (1958), aveva suggerito che la preferenza da darsi, all'uno od all'altro metodo, dipende dai caratteri della rete (ad esempio in bacini scolanti pianeggianti, l'effetto di laminazione si ritiene maggiore di quello di corrivazione; F. Marzolo, 1963) e che, comunque, in un progetto di sistemazione fluviale potrebbe convenire far uso di entrambi, allo scopo di ottenere utili confronti. Com'è facile intuire, infatti, la scelta, a priori, non garantisce da eventuali errori di valutazione ad "occhio" sulla predominanza di un effetto sull'altro.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

G. Frega ed altri, nel 2006, hanno trovato una possibile connessione fra i due metodi. Se si considera, infatti, che l'intensità media di precipitazione $i = h/t$ diventa, nel caso di curve di possibilità pluviometrica a due parametri:

$$(h = a \cdot t^n), i = \frac{a \cdot t^n}{t} = a \cdot t^{n-1}$$

è possibile osservare che h è il volume per unità di superficie (volume specifico) e che i è, invece, la portata media affluita sul bacino per unità di superficie (portata specifica). Se, quindi, $i = h$ (con t durata della pioggia), rappresenta la portata media in afflusso sulla superficie del bacino, risulta accettabile definire:

$$i^* = \frac{h}{t + \tau} = \frac{a \cdot t^n}{t + \tau} \quad (1)$$

la portata media per unità di superficie che raggiunge la sezione di chiusura. Dalla (1) si deduce che il valore massimo di i^* , al variare della durata della pioggia (durata critica), è dato da:

$$\frac{di^*(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{a \cdot t^n}{t + \tau} \right) = 0 \quad (2)$$

Che fornisce n soluzioni per $t_c = 0$ ed una soluzione fisicamente accettabile per:

$$t_c = \frac{\tau}{\frac{1}{n} - 1} \quad (3)$$

Si definisce in tal modo una relazione tra la durata della pioggia t ed il tempo di corrivazione τ , in corrispondenza della quale si verifica la massima portata lorda media, per unità di superficie, alla sezione di chiusura del bacino scolante. Dalla teoria dell'invaso (G. Supino, 1965) è noto che:

$$\varepsilon = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{Q} = \frac{\varphi \cdot A \cdot a \cdot t^{n-1}}{Q} \quad (4)$$

dove φ è il coefficiente di afflusso (≤ 1), i l'intensità media di pioggia (mm/h), A l'area del bacino (mq), Q la portata a sezione piena (L/s), a (mm/h) ed n (adimensionale) i parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica, dalla quale è possibile esplicitare la durata critica t_c in funzione di ε_c e Q_{max} :

$$t_c = \left(\frac{\varepsilon_c \cdot Q_{max}}{\varphi \cdot a \cdot A} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (5)$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

pertanto il problema della ricerca del tempo critico di pioggia t_c consiste nel ricavare il valore del parametro ε_c . Sempre dalla teoria dell'invaso, è noto che esiste un legame fra i parametri n ed ε in quanto:

$$n = 1 + (\varepsilon - 1) \cdot \ln \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \quad (6)$$

A questo punto ragguagliando i parametri a ed n all'effettiva estensione aerale del bacino (a' ed n') ed eguagliando le durate critiche espresse dalle equazioni (3) e (5), si ottiene una relazione che lega la portata critica di piena Q_{max} (l/s) sia al valore tempo di corrivazione τ che al valore del parametro del metodo dell'invaso ε_c :

$$Q_{max} = \left(\frac{\tau}{\frac{1}{n'} - 1} \right)^{n'-1} \cdot \frac{\psi \cdot \sigma(T_f) \cdot A}{3600 \cdot \varepsilon_c} \quad (7)$$

Calcolato, pertanto, il parametro d'invaso ε_c , in funzione del parametro di pioggia n' e calcolato il parametro cinematico τ , in funzione delle caratteristiche del bacino, può determinarsi, sinteticamente, una portata massima indicativa degli effetti moderatori operati sia dalle caratteristiche cinematiche di spostamento dei volumi d'acqua affluiti al bacino che dalle caratteristiche d'invaso proprie del bacino scolante, reticolarizzato dall'insieme delle opere idrauliche poste a costituire il suo sistema drenante.

Metodo Corrivazione

I Metodo della corrivazione di basa sulle seguneti ipotesi:

- La formazione della piena è dovuta unicamente ad un trasferimento di 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 da diverse parti del bacino.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

$$Q_{max} = \frac{\varphi * i_{tc} * A}{360}$$

in cui:

- Q_{max} : portata al colmo (in m³/s)
- Φ : coefficiente di afflusso
- i_{tc} : intensità media di pioggia per una durata pari a t_c (in mm/h)
- A : superficie del bacino (in ha)

Dove t_c è il tempo di corrivazione della sezione terminale del generico tratto considerato. Di norma si assume

$$t_c = t_r + L/v$$

Dove:

- t_r è il tempo di accesso alla rete pari a 0,27h;
- v è la velocità della corrente pari a 1 m/s;
- L è la lunghezza del nuovo tratto Capofosso A+Capofosso C pari a 1593 m.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

5.2.4 Stima portate e verifiche idrauliche

Di seguito si riportano le portate stimate con i metodi precedentemente illustrati associate a Tr30 anni:

| Metodo dell'invaso | | | | | Metodo Corrivazione | | | Metodo Corrinva | | |
|--------------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------------|-----------|----------------|-----------------|-----------|---------------|
| V (mc/ha) | U (l/sha) | Vc (mc/ha) | Vs (mc/ha) | Q (l/s) | Tc [h] | U (l/sha) | Q (l/s) | € | U (l/sha) | Q (l/s) |
| 35,51 | 16,44 | 24,36 | 35,00 | 777,89 | 0,71 | 24,62 | 1164,76 | 2,10 | 19,06 | 901,67 |

Tali valori sono congruenti con il coefficiente udometrico, associato a Tr30 anni, del Fosso Dogaia dei Quadrelli stimato pari a 12,02 l/s*ha. Infatti il Fosso Dogaia dei Quadrelli presenta alla sezione di chiusura una portata di picco associata a TR 30 anni pari a 8,23 mc/s con un estensione del bacino di 684,72 ha (vedi cap. 6.4 della presente relazione).

La forma e le dimensioni delle sezioni del canale Capofosso A-C rispondono alle seguenti esigenze:

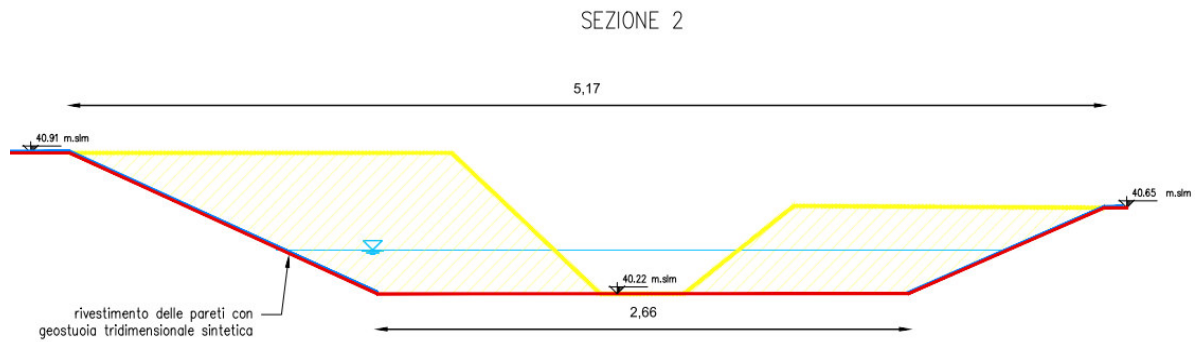
- Consentire il trasferimento della portata lungo tutto il percorso;
- Mantenere le dimensioni e forma stabilmente.

La forma del canale sarà trapezia e il dimensionamento della sezione viene effettuato ipotizzando condizione di moto uniforme.

Dalle scale di deflusso riportate di seguito, si osserva che la nuova sezione del canale Capofosso A-C risulta verificata per portate meteoriche TR 30 anni.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

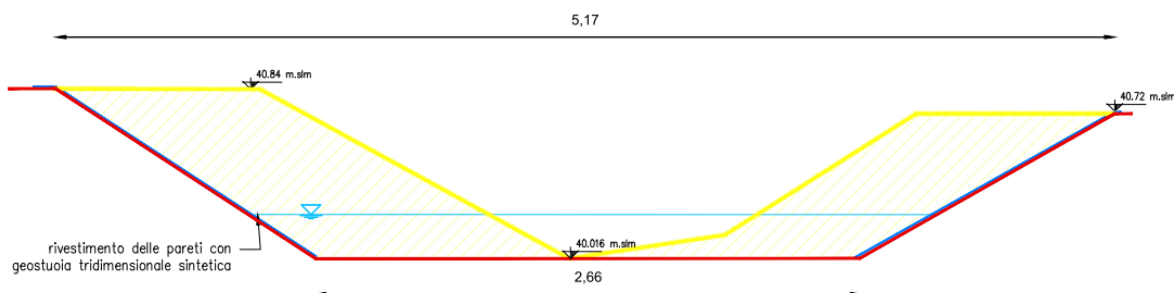
SEZIONE 2:



| SEZIONE TRAPEZIA O RETTANGOLARE | | | | | |
|--|------------------|---|-----------------------|------------------|------------------|
| | | | | | |
| Dati della sezione | | | | | |
| H= | 43 | cm | (Altezza sezione) | | |
| b= | 266 | cm | (Base minore sezione) | | |
| B= | 517 | cm | (Base maggiore) | | |
| Angolo | 71.12308 | gradi | | | |
| Area= | 1.68 | mq | | | |
| Pendenza | 0.23 | % | | | |
| K | 40 | Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler | | | |
| Portata di progetto | | 1.16 | mc/sec | | |
| | | | | | |
| H defl (cm) | Contorno bagnato | Area deflusso (mq) | Raggio idraulico | Portata (mc/sec) | Velocità (m/sec) |
| 2.15 | 279.29 | 0.059 | 0.021 | 0.008538 | 0.14584 |
| 4.3 | 292.58 | 0.120 | 0.041 | 0.027297 | 0.22788 |
| 6.45 | 305.87 | 0.184 | 0.060 | 0.054062 | 0.29424 |
| 8.6 | 319.16 | 0.250 | 0.078 | 0.088026 | 0.35156 |
| 10.75 | 332.45 | 0.320 | 0.096 | 0.12876 | 0.40269 |
| 12.9 | 345.74 | 0.392 | 0.113 | 0.176013 | 0.44923 |
| 15.05 | 359.03 | 0.467 | 0.130 | 0.229632 | 0.49217 |
| 17.2 | 372.32 | 0.544 | 0.146 | 0.289531 | 0.53219 |
| 19.35 | 385.62 | 0.624 | 0.162 | 0.355666 | 0.56978 |
| 21.5 | 398.91 | 0.707 | 0.177 | 0.428023 | 0.60533 |
| 23.65 | 412.20 | 0.793 | 0.192 | 0.506611 | 0.63912 |
| 25.8 | 425.49 | 0.881 | 0.207 | 0.591454 | 0.67138 |
| 27.95 | 438.78 | 0.972 | 0.222 | 0.68259 | 0.7023 |
| 30.1 | 452.07 | 1.066 | 0.236 | 0.780069 | 0.73202 |
| 32.25 | 465.36 | 1.162 | 0.250 | 0.883945 | 0.76069 |
| 34.4 | 478.65 | 1.261 | 0.263 | 0.994281 | 0.78841 |
| 36.55 | 491.94 | 1.363 | 0.277 | 1.111144 | 0.81526 |
| 38.7 | 505.23 | 1.467 | 0.290 | 1.234606 | 0.84134 |
| 40.85 | 518.52 | 1.575 | 0.304 | 1.364741 | 0.8667 |
| 43 | 531.81 | 1.685 | 0.317 | 1.501626 | 0.89141 |
| La portata di progetto defluisce con i seguenti dati | | | | | |
| H defl (cm) | Contorno bagnato | Area deflusso (mq) | idraulico (ml) | Portata (mc/sec) | Velocità (m/sec) |
| 37.41 | 497.29 | 1.405 | 0.282 | 1.160 | 0.82584 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

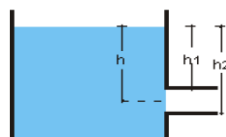
SEZIONE 3:



| SEZIONE TRAPEZIA O RETTANGOLARE | | | | | |
|--|------------------|---|-----------------------|------------------|------------------|
| Dati della sezione | | | | | |
| H= | 70.4 | cm | (Altezza sezione) | | |
| b= | 266 | cm | (Base minore sezione) | | |
| B= | 517 | cm | (Base maggiore) | | |
| Angolo | 60.74028 | gradi | | | |
| Area= | 2.76 | mq | | | |
| Pendenza | 0.23 | % | | | |
| K | 40 | Coefficiente di scabrezza di Gauckler - Strickler | | | |
| Portata di progetto | | 1.16 | mc/sec | | |
| H defl (cm) | Contorno bagnato | Area deflusso (mq) | Raggio idraulico | Portata (mc/sec) | Velocità (m/sec) |
| 3.52 | 280.40 | 0.096 | 0.034 | 0.019365 | 0.20204 |
| 7.04 | 294.81 | 0.196 | 0.067 | 0.061764 | 0.31494 |
| 10.56 | 309.21 | 0.301 | 0.097 | 0.122054 | 0.40576 |
| 14.08 | 323.61 | 0.410 | 0.127 | 0.198332 | 0.48384 |
| 17.6 | 338.02 | 0.523 | 0.155 | 0.289571 | 0.5532 |
| 21.12 | 352.42 | 0.641 | 0.182 | 0.395161 | 0.61608 |
| 24.64 | 366.82 | 0.764 | 0.208 | 0.514726 | 0.67391 |
| 28.16 | 381.23 | 0.891 | 0.234 | 0.648042 | 0.72765 |
| 31.68 | 395.63 | 1.022 | 0.258 | 0.794984 | 0.778 |
| 35.2 | 410.04 | 1.157 | 0.282 | 0.955501 | 0.8255 |
| 38.72 | 424.44 | 1.298 | 0.306 | 1.129595 | 0.87056 |
| 42.24 | 438.84 | 1.442 | 0.329 | 1.317305 | 0.91349 |
| 45.76 | 453.25 | 1.591 | 0.351 | 1.518703 | 0.95458 |
| 49.28 | 467.65 | 1.744 | 0.373 | 1.733883 | 0.99402 |
| 52.8 | 482.05 | 1.902 | 0.395 | 1.962958 | 1.032 |
| 56.32 | 496.46 | 2.064 | 0.416 | 2.206056 | 1.06868 |
| 59.84 | 510.86 | 2.231 | 0.437 | 2.463316 | 1.10418 |
| 63.36 | 525.26 | 2.402 | 0.457 | 2.734887 | 1.13862 |
| 66.88 | 539.67 | 2.577 | 0.478 | 3.020926 | 1.17209 |
| 70.4 | 554.07 | 2.757 | 0.498 | 3.321596 | 1.20467 |
| La portata di progetto defluisce con i seguenti dati | | | | | |
| H defl (cm) | Contorno bagnato | Area deflusso (mq) | idraulico (ml) | Portata (mc/sec) | Velocità (m/sec) |
| 39.32 | 426.89 | 1.322 | 0.310 | 1.161 | 0.87801 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Il sopralluogo in corrispondenza del Capofosso C sul Fosso Dogaia dei Quadrelli ha evidenziato che lo scarico è garantito da una tubazione in calcestruzzo di diametro 800 mm. Tale tubazione è in grado di scaricare circa 1,73 mc/s, considerando come battente idraulico il massimo livello idrico nel capofosso stesso.



$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$

Legenda

Q = Portata effluente dalla luce

h = distanza tra il baricentro della luce e il pelo libero

D = Diametro della condotta

Confrontando le portate precedentemente stimate con la portata massima smaltibile dallo scarico esistente sul Fosso Dogaia, si può concludere che le dimensioni dello scarico sono adeguate alla portata di pioggia per un Tempo di Ritorno di 30anni.

Il Capofosso A-C verrà risagomato come sopra descritto e lasciato defluire in direzione della portella di scarico nel Fosso Dogaia dei Quadrelli.

5.2.5 Verifiche idrauliche delle intersezioni tra i canali esistenti e la nuova strada di accesso al depuratore

Come è possibile osservare dalle tavole progettuali, il tracciato di progetto della strada di accesso al depuratore si interseca con il tracciato del Capofosso A, B e D.

Il Capofosso A verrà interrotto in corrispondenza della strada di progetto e parte defluirà verso il Capofosso B e parte verso il nuovo tracciato di progetto verso il Capofosso C.

Gli attraversamenti del Capofosso B e D saranno eseguiti tramite la posa di tubazioni scatolari in maniera tale da garantire la continuità idraulica dei fossi.

Le verifiche di seguito riportate evidenzino l'invarianza idraulica dell'intervento.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

| | | | |
|--|--------------------------|---|--|
| CANALE ESISTENTE N.1 (vicino via S. Sebastiano) | | | |
| STATO ATTUALE | | | |
| Pendenza i | 0.0032 | | |
| Coeff. Scabrezza Ks | 30 (m ^{1/3})/s | Gauckler-Strickler | |
| Sezione bagnata A | 1.74 mq | | |
| Perimetro bagnato | 3.77 m | | |
| Raggio idraulico | 0.46 m | | |
| C | 26.37 | formula Strickler | |
| v | 1.01 m/s | formula Chezy | |
| Q | 1.75 mc/s | | |
| STATO DI PROGETTO | | | |
| Dati di progetto: | | | |
| Portata di progetto | 1.75 mc/s | portata a sezione piena stato attuale | |
| Lunghezza tratto da tombare | 16 m | | |
| Perdita carico st. attuale nel tratto | 0.050 m | moto uniforme a pelo libero | |
| <i>Perdita distribuita scatolare in pressione</i> | | | |
| Base | 1.00 m | | |
| Altezza | 0.60 m | | |
| Portata in transito | 0.87 mc/s | semiportata (2 scatolari affiancati) | |
| Sezione | 0.60 mq | | |
| Perimetro | 3.2 | | |
| Raggio idraulico | 0.19 m | | |
| v | 1.458 m/s | | |
| Ks | 85 m ^{1/3} /s | Gauckler Strickler | |
| C | 64 | coefficiente di scabrezza | |
| J | 0.00274 | Formula di Chezy | |
| Lunghezza | 16 m | | |
| Perdita carico st. di progetto | 0.044 m | | |
| NB: Si trascurano le perdite di imbocco/sbocco poiché il canale sarà riprofilato e raccordato agli scatolari | | | |
| <i>Brusco restringimento</i> | | | |
| velocità valle | 1.458 m/s | | |
| sezione monte A1 | 1.74 mq | | |
| sezione valle A2 | 1.2 mq | 2 scatolari affiancati | |
| A2/A1 | 0.69 | | |
| coefficiente a | 0.155 | | |
| perdita di carico | 0.017 m | | |
| <i>Brusco allargamento (Perdita di Borda)</i> | | | |
| velocità monte | 1.458 m/s | | |
| velocità valle | 1.01 m/s | | |
| perdita di carico | 0.010 m | | |
| Perdita carico st. di progetto | 0.071 m | (valore comprensivo di perdite di imbocco/sbocco) | |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

| | | | |
|---|--------------------------|---|--|
| CANALE ESISTENTE N.2 (vicino impianto) | | | |
| STATO ATTUALE | | | |
| Pendenza i | 0.0010 | | |
| Coeff. Scabrezza Ks | 30 (m ^{1/3})/s | Gauckler-Strickler | |
| Sezione bagnata A | 0.67 mq | | |
| Perimetro bagnato | 2.25 m | | |
| Raggio idraulico | 0.30 m | | |
| C | 24.52 | formula Strickler | |
| v | 0.43 m/s | formula Chezy | |
| Q | 0.29 mc/s | | |
| STATO DI PROGETTO | | | |
| Dati di progetto: | | | |
| Portata di progetto | 0.29 mc/s | portata a sezione piena stato attuale | |
| Lunghezza tratto da tombare | 12.5 m | | |
| Perdita carico st. attuale nel tratto | 0.013 m | moto uniforme a pelo libero | |
| <i>Perdita distribuita scolare in pressione</i> | | | |
| Base | 1.00 m | | |
| Altezza | 0.60 m | | |
| Portata in transito | 0.29 mc/s | | |
| Sezione | 0.60 mq | | |
| Perimetro | 3.2 | | |
| Raggio idraulico | 0.19 m | | |
| v | 0.480 m/s | | |
| Ks | 85 m ^{1/3} /s | Gauckler Strickler | |
| C | 64 | coefficiente di scabrezza | |
| J | 0.00030 | Formula di Chezy | |
| Lunghezza | 12.5 m | | |
| Perdita carico st. di progetto | 0.004 m | | |
| NB: Si trascurano le perdite di imbocco/sbocco poiché il canale sarà riprofilato e raccordato agli scotolari | | | |
| <i>Brusco restringimento</i> | | | |
| velocità valle | 0.480 m/s | | |
| sezione monte A1 | 0.67 mq | | |
| sezione valle A2 | 0.60 mq | | |
| A2/A1 | 0.90 | | |
| coefficiente a | 0.05 | | |
| perdita di carico | 0.001 m | | |
| <i>Brusco allargamento (Perdita di Borda)</i> | | | |
| velocità monte | 0.480 m/s | | |
| velocità valle | 0.43 m/s | | |
| perdita di carico | 0.000 m | | |
| Perdita carico st. di progetto | 0.004 m | (valore comprensivo di perdite di imbocco/sbocco) | |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

6 Analisi idraulica del Fosso Dogaia dei Quadrelli (Hec Ras)

E' stata effettuata l'analisi idraulica del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto interessato dall'intervento di realizzazione dello sfioro laterale e dello scarico del depuratore, determinandone il profilo idraulico. Lo schema di calcolo adottato è quello del moto vario, sviluppando gli studi idrologici-idraulici tenendo conto delle mappe di pericolosità del PGRA e del quadro conoscitivo a supporto di tali mappe (portate, modellazioni esistenti utilizzate per redazione delle mappe stesse, sezioni, ecc.) consegnatoci su file formato .dss da Adb Arno.

Si presenta un'analisi più dettagliata di quanto presentato in sede di Verifica di Assoggettabilità a VIA.

Per la determinazione del profilo di moto permanente viene utilizzato il codice HEC-RAS 'River Analysis System' Versione 5.0.1 (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center). Di seguito si riporta la descrizione del tratto analizzato, del codice di calcolo e dei risultati ottenuti.

6.1 Caratteristiche geometriche del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto analizzato

Il Fosso Dogaia dei Quadrelli, nel tratto di interesse, presenta fondo in terreno con letto irregolare. Per determinare i parametri idraulici necessari per il modello, sono state rilevate delle sezioni a monte e a valle dei futuri manufatti in progetto. E' necessario evidenziare la presenza di un ponte, a valle dei manufatti di progetto, di cui è stata rilevata la sezione.

Il progetto prevede di garantire il riempimento del volume di compenso tramite una canala rettangolare in cemento armato, posta laterale al Fosso tra le sezioni 1.2 ed 1.3. Il suo svuotamento avverrà a gravità tramite una condotta in PVC DE250.

Le sponde e il fondo, in corrispondenza di tali manufatti e lungo tutta la vasca di compenso, verranno rivestiti, come mostrato negli elaborati grafici, con massi ciclopici posti a salvaripa con pezzatura minima di diametro pari a 0,5 m, intasate in cls 20/25.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Di seguito si riporta la planimetria e il profilo implementata in HEC RAS .

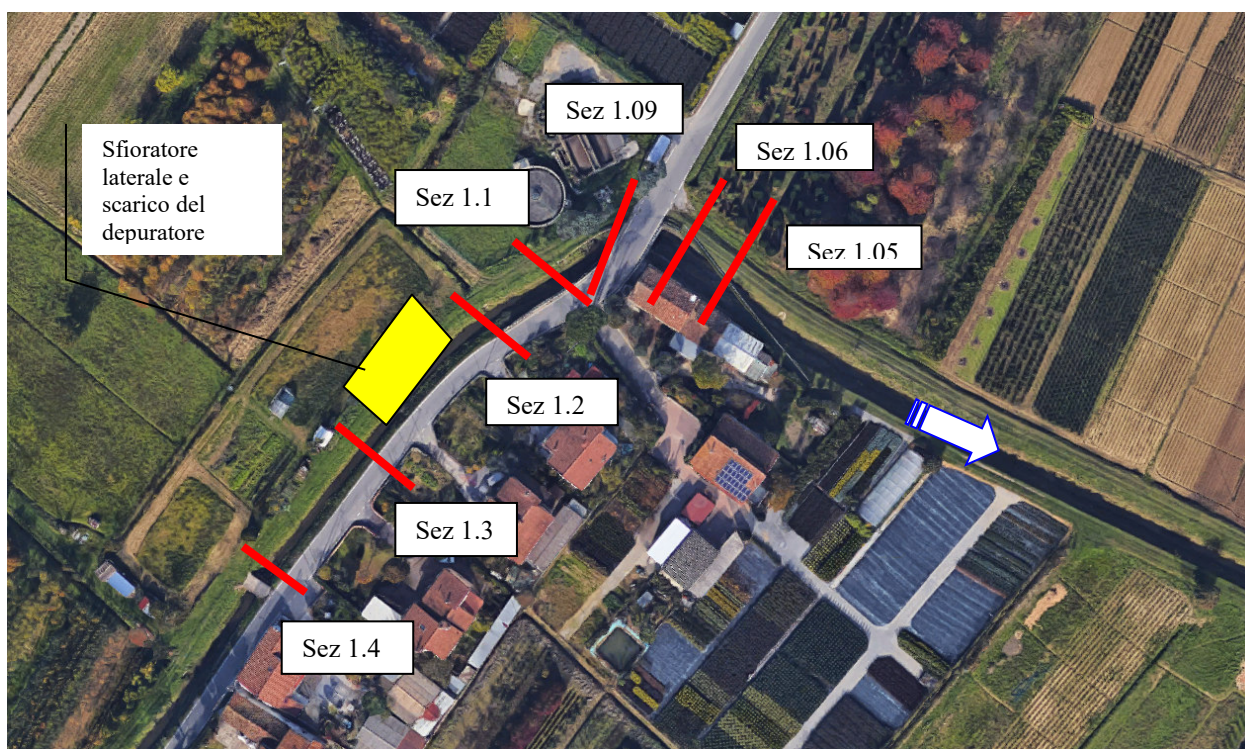


Figura 14- Planimetria del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto di studio

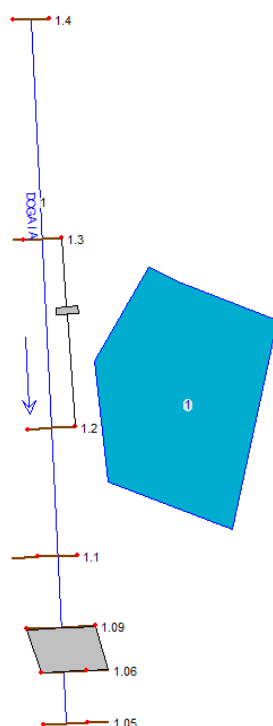


Figura 15- Planimetria del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto di studio

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

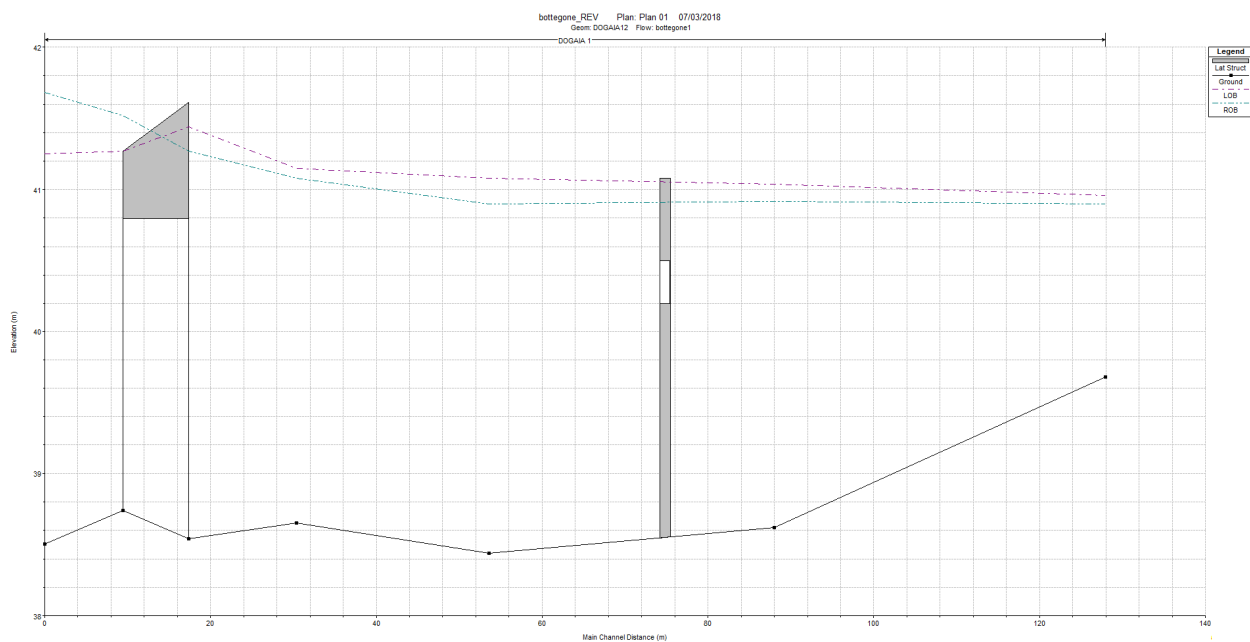


Figura 16- Profilo del Fosso Dogaia dei Quadrelli nel tratto di studio

Tra le sezioni risultano le seguenti distanze:

| Sezioni | Distanze (m) |
|-------------|--------------|
| S1.05-S1.06 | 9,40 |
| S1.06-S1.09 | 8,00 |
| S1.09-S1.1 | 13,00 |
| S1.1-S1.2 | 23,22 |
| S1.2-S1.3 | 34,41 |
| S1.3-S1.4 | 39,90 |

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

6.2 Modello utilizzato – Moto Vario

Il modello monodimensionale utilizzato permette di simulare la propagazione di un'onda di piena con tempo di ritorno assegnato (nel nostro caso scelto pari a 30 anni).

Il modello consegnatoci da Adb Arno è relativo al Fosso Dogaia dei Quadrelli e le sue connessioni con Torrente Stella e Torrente Ombrone.

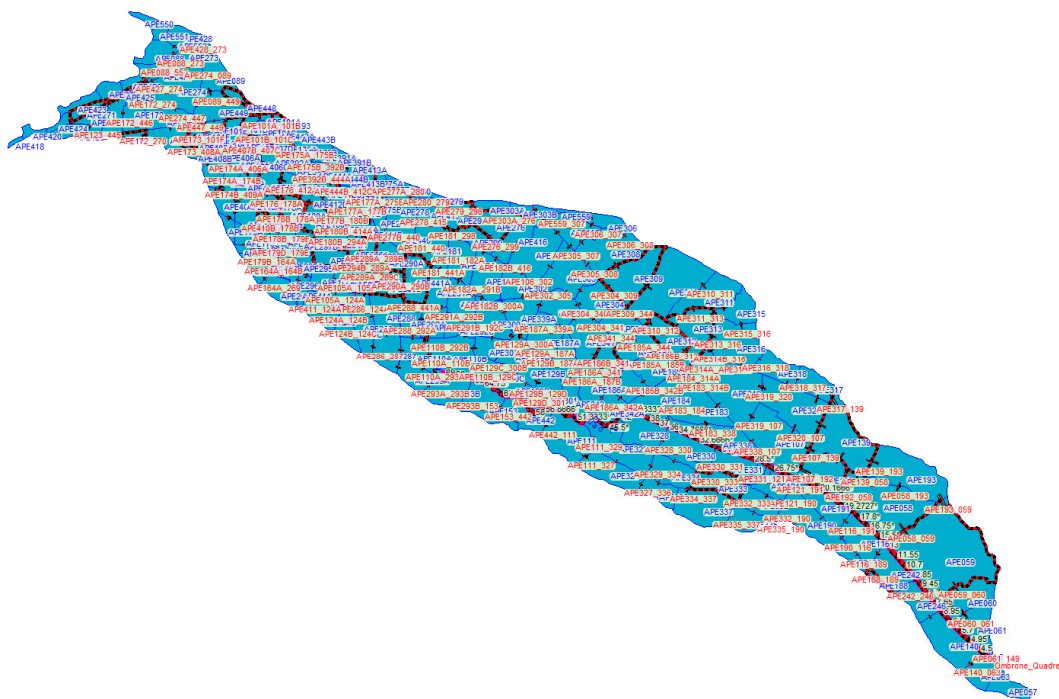


Figura 17- Modello AdB Arno

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Le sezioni 42 e 41 si trovano in corrispondenza delle vasche e dell'opera di scarico del Depuratore.

Il programma risolve il problema dell'individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione, nelle seguenti ipotesi:

- la corrente è stazionaria: le grandezze cinematiche si assumono invarianti nel tempo;
- il moto è gradualmente variato; equivale ad assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni in corrispondenza di ciascuna sezione;
- il flusso è mono-dimensionale;

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

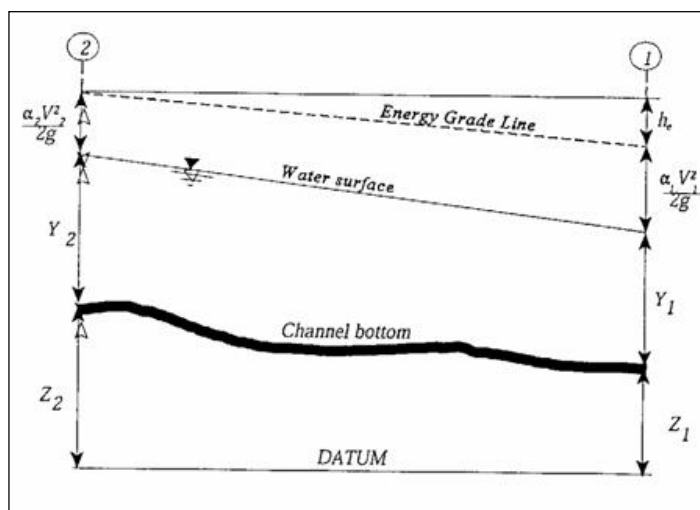


Figura 19- Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia

Equazioni di base

Il modello matematico che rappresenta il sistema fisico, così come questo è schematizzato tra le sezioni trasversali 1 e 2 del corso d'acqua, è determinato risolvendo l'equazione del bilancio energetico con la procedura iterativa denominata standard step,

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad \text{Equazione dell'energia} \quad (1)$$

dove:

- Y_2 ; Y_1 = profondità della corrente misurata dal fondo dell'alveo ;
- Z_2 ; Z_1 = Altezza del fondo rispetto ad una quota di riferimento nelle sezioni 2 ed 1;
- V_2 ; V_1 = velocità media (portata totale/area di flusso totale) nelle sezioni 2 ed 1;
- α_2 ; α_1 = coefficiente di raggio delle altezze cinetiche;
- g = accelerazione di gravità;
- h_e = perdite di carico totali.

Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. E' valutato mediante la relazione:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

- L = lunghezza del tronco considerato;
- \bar{S}_f = perdite di carico per attrito;
- C = coefficiente delle perdite per espansione o contrazione.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il secondo termine dell'equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0,1 e 1 per correnti subritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente veloce a lenta per fenomeni di risalto, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

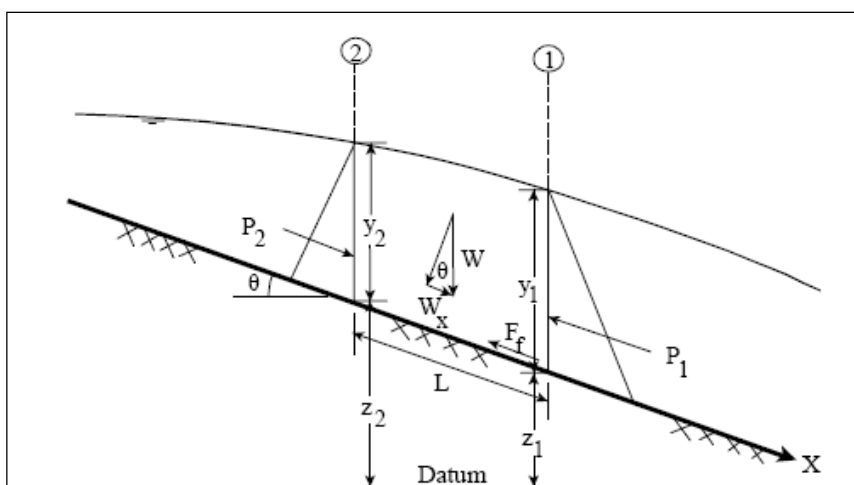


Figura 20- Equazione globale di equilibrio, figura tratta dal manuale HEC RAS.

Data dalla seguente equazione:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \rho \Delta V_x$$

dove

- $P_2 - P_1$ = differenza tra la spinta in entrata e quella in uscita
- W_x = Forza dovuta al peso dell'acqua in direzione dle moto;
- F_f = attrito al fondo;
- ρ = densità dell'acqua;
- ΔV_x = variazione della velocità tra le due sezioni.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Considerando la componente idrostatica nelle due sezioni di riferimento, l'equazione che esprime l'attrito al fondo e la componente della forza peso, HEC RAS utilizza la seguente formula:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1$$

dove:

- A = area bagnata;
- L = distanza fra le sezioni 1 e 2 misurata lungo la direzione X
- b = coefficiente di ragguaglio che tiene conto delle variazioni nella distribuzione della velocità in canali irregolari (permette di modellare il problema in termini di soli valori medi di V)
- S₀ = pendenza del canale
- \bar{S}_f = cadente

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. In ciascun ambito (ma è possibile in generale assegnare differenti scabrezze ad ogni segmento della sezione) vengono definite le scabrezze del fondo, che poi vengono composte al fine di generare una scabrezza equivalente valida per l'intera sezione.

Criteri di suddivisione della sezione

La sezione idraulica del corso d'acqua viene rappresentata geometricamente per punti. All'interno di essa si distinguono in generale tre zone che, adottando la terminologia inglese, indichiamo con:

- main channel* = M.CHA. (canale principale)
- left overbank* = LO (golena sinistra)
- right overbank* = RO (golena destra)

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

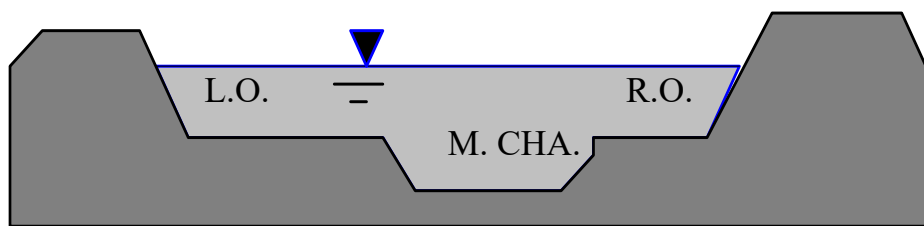


Fig.8 Schema fondamentale di suddivisione in sottosezioni

In ciascun ambito (ma è possibile in generale assegnare differenti scabrezze ad ogni segmento della sezione) vengono definite le scabrezze del fondo, che poi vengono composte al fine di generare una scabrezza equivalente valida per l'intera sezione. Per ciascun ambito (o sottosezione) si determina la capacità di deflusso attraverso la seguente formula, espressa nel sistema di misura internazionale:

$$K = \frac{ar^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- $K [m^3/s]$ = conveyance, o capacità di deflusso nell'ambito;
- $n [s/m^{1/3}]$ = scabrezza di Manning;
- $r [m]$ = raggio idraulico dell'ambito;
- $a [m^2]$ = area della sezione bagnata dell'ambito.

Coefficientie di scabrezza di manning

La scelta del coefficiente di scabrezza più appropriato è particolarmente significativa per la affidabilità del calcolo del profilo liquido.

Il valore della scabrezza è fortemente variabile e dipende da vari fattori tra cui:

- la ruvidità delle superfici;
- la presenza di vegetazione;
- l'irregolarità dell'alveo;
- la presenza di zone di erosione e deposito;
- la presenza di ostruzioni ed ostacoli;
- le dimensioni e la forma dell'alveo;
- le variazioni stagionali e della temperatura;
- il materiale in sospensione e quello mobile al fondo.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

In generale, i valori dei coefficienti di scabrezza dovrebbero essere calibrati ogni volta che sono disponibili informazioni su un profilo liquido osservato. Se non esistono dati misurati, per scegliere il coefficiente di scabrezza occorre riferirsi a valori stimati in corsi d'acqua con caratteristiche simili o a valori ottenuti da prove di laboratorio.

Valutazione delle perdite di carico per attrito

Le perdite di carico per attrito sono calcolate dal programma attraverso il prodotto LS_f dove, S_f (slope friction) è la pendenza d'attrito media del tratto, pesabile in vari modi, tra i quali ricordiamo ad esempio il seguente:

$$S_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

dove K_1 , K_2 rappresentano le *conveyances* totali delle sezioni estreme e Q_1 , Q_2 le relative portate.

Per ciascun ambito (o sottosezione) si determina la capacità di deflusso (portata per unità di pendenza^{1/2}) attraverso la seguente formula, espressa nel sistema di misura internazionale:

$$K = \frac{ar^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- $K [m^3/s]$ = conveyance, o capacità di deflusso;
- $n [s/m^{1/3}]$ = scabrezza di Manning;
- $r [m]$ = raggio idraulico dell'ambito;
- $a [m^2]$ = area della sezione bagnata dell'ambito.

Impiego dello Standard Step Method per il calcolo del profilo del pelo libero

La determinazione del livello della corrente in una sezione è effettuata risolvendo in modo iterativo le due equazioni di base, secondo il seguente schema di algoritmo:

Assegnata la portata Q si assume un livello della corrente nella sezione di

monte (o in quella di valle nel caso di correnti veloci);

- Basandosi sul livello assunto si determinano i corrispondenti valori di V_2 e K_2 nella sezione;
- Con i valori calcolati al passo 2 si calcola S_f e si determina, tramite la (2), h_e .
- Con i valori determinati ai passi 2 e 3 si risolve l'equazione (1) rispetto a y_2 .
- Si confronta il valore di y_2 ricavato al punto 4 con quello assunto al punto 1 e si ripetono i passi da 1 a 5 fino a che lo scarto non è inferiore ad una tolleranza assegnata.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Il criterio utilizzato per determinare il livello idrico nella procedura iterativa cambia ad ogni tentativo. Il primo valore di tentativo del livello idrico ($y_2^{(1)}$) è pari alla profondità dell'acqua determinata o assegnata nella sezione precedente. Il valore del livello idrico di secondo tentativo ($y_2^{(2)}$) è pari al precedente valore corretto con il 70% dell'errore sul primo tentativo, cioè, in altre parole:

$$y_2^{(2)} = y_2^{(1)} + 0.7 * (y_{2calc}^{(2)} - y_2^{(1)}),$$

nella quale con $y_{2calc}(2)$ si è indicato il valore ricavato al punto 4 del precedente algoritmo.

La terza e le seguenti iterazioni sono invece basate sul metodo della secante.

Calcolo della profondità critica

Il carico totale di una data sezione trasversale è definito dalla equazione seguente:

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (3)$$

dove: H = carico totale; WS = quota del pelo libero; $\frac{\alpha V^2}{2g}$ = energia cinetica.

La profondità critica è definita come l'altezza del pelo libero a cui, per un' assegnata portata, corrisponde la minima energia (carico totale). La profondità critica è determinata con una procedura iterativa in cui si assume una quota arbitraria del livello idrico e si calcola il corrispondente valore del carico totale (H) sulla base dell'equazione (3), fino a quando non è individuato il minimo valore di H .

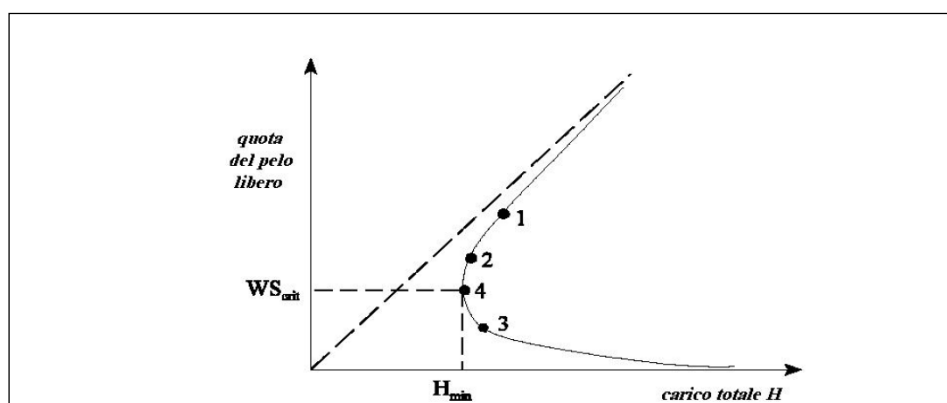


Figura 21 - Diagramma del carico totale in funzione della quota del pelo libero

Il software HEC-RAS dispone di due distinti procedimenti per il calcolo della profondità critica: il metodo parabolico e il metodo della secante. Il metodo parabolico presenta meno elaborazioni ed è dunque più veloce, ma riesce ad individuare un solo minimo della curva dell'energia. Nella

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

maggior parte dei casi le sezioni presentano effettivamente un solo minimo del carico totale, dunque il programma automaticamente (o per *default*) dispone il calcolo della profondità critica con tale metodo più speditivo. Se il metodo parabolico non converge ad una soluzione, allora il programma automaticamente dispone il calcolo con il metodo della secante.

In certi casi è infatti possibile che esista più di un minimo nella curva dei carichi totali. La presenza di più minimi è associata a sezioni trasversali che, nella curva dei carichi totali, presentano salti dovuti a golene molto larghe e piatte, oppure alla presenza di discontinuità (argini) o porzioni di sezione con flusso intercettato (pile dei ponti). Se in sezioni che presentano più minimi della curva dei carichi totali, si applica il metodo parabolico, questo convergerà al primo valore individuato. Questo approccio conduce spesso a stime non corrette della profondità critica, pertanto diviene opportuno selezionare il metodo delle secanti per una simulazione numerica più corretta.

Modellazione dei ponti.

I ponti sono elementi di singolarità rispetto alla normale geometria fluviale causa di contrazioni ed espansioni della vena fluida e conseguente perdite di carico.

All'interno del software HEC-RAS la presenza di tali infrastrutture viene modellata mediante l'inserimento di quattro sezioni:

- La sezione 1, ubicata a valle del ponte, a una distanza pari ad almeno quattro volte il semi-restringimento causato dal ponte nella sezione 2 con le spalle e le eventuali pile;
- Le sezioni 2 e 3 ubicate rispettivamente subito a valle e subito a monte del ponte;
- La sezione 4, ubicata a monte del ponte, a una distanza pari almeno al semirestringimento causato dal ponte nella sezione 3.

Questo tipo di modellazione permette di tenere conto del fenomeno di contrazione e espansione della vena liquida a monte e a valle del restringimento della sezione generato dalla presenza dell'infrastruttura.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

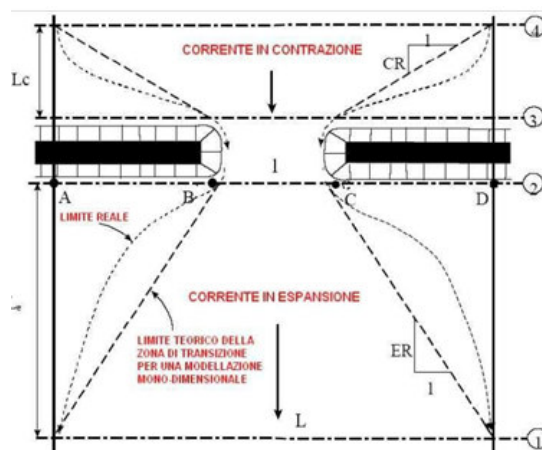


Figura 22 - Schema ponti

Per quanto riguarda le modalità di approccio alla simulazione il software HEC-RAS permette di effettuare una modellazione idraulica nelle seguenti situazioni di flusso:

- Low flow: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO.
- Weir flow: s'innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;
- Pressure flow: avviene quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.
- High flow: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l'equazione dell'energia.

Nel caso di *low flow* il programma differenzia tre casi, a seconda che la corrente sia sempre lenta (subcritica), mista o sempre veloce (super critica).

Nel primo caso il programma dà la possibilità di scegliere 4 metodi di soluzione differenti:

- Equazione dell'energia
- Bilancio della quantità di moto: il bilancio avviene tra le sezioni 2 e 3 in tre step successivi. In un primo momento fra la sezione 2 e la sezione di valle interna al ponte,

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

quindi fra valle-ponte e monte-ponte, infine tra la sezione a monte interna al ponte e la sezione 3.

- Equazione di Yarnel:

$$\frac{\Delta Y}{Y_0} = k_2(k_2 - 0.6 + 5 Fr^2) \left[1 - \frac{b}{b_0} + 15 \left(1 - \frac{b}{b_0} \right)^4 \right] Fr^2$$

Dove:

dove:

- ΔY è il rigurgito provocato dalla presenza delle pile del ponte tra le sezioni 2 e 3;
 - b_0, Y_0 sono rispettivamente la larghezza e l'altezza del corso d'acqua in condizioni indisturbate (canale a sezione rettangolare);
 - b è la larghezza della sezione ristretta;
 - Fr è il numero di Froude;
 - k_2 è un coefficiente tabellato che tiene conto della geometria delle pile del ponte e del suo effetto sulle modifiche al deflusso;
- Metodo FHWA WSPRO: consiste nella soluzione iterativa dell'equazione dell'energia fra le sezioni di entrata (1) e di uscita (4) del ponte (sezioni in cui le linee di flusso sono approssimativamente parallele). L'equazione è risolta in più passi fra le sezioni 1-2, 2-3, 3-4.

Di seguito viene riportata l'equazione del metodo WSPRO:

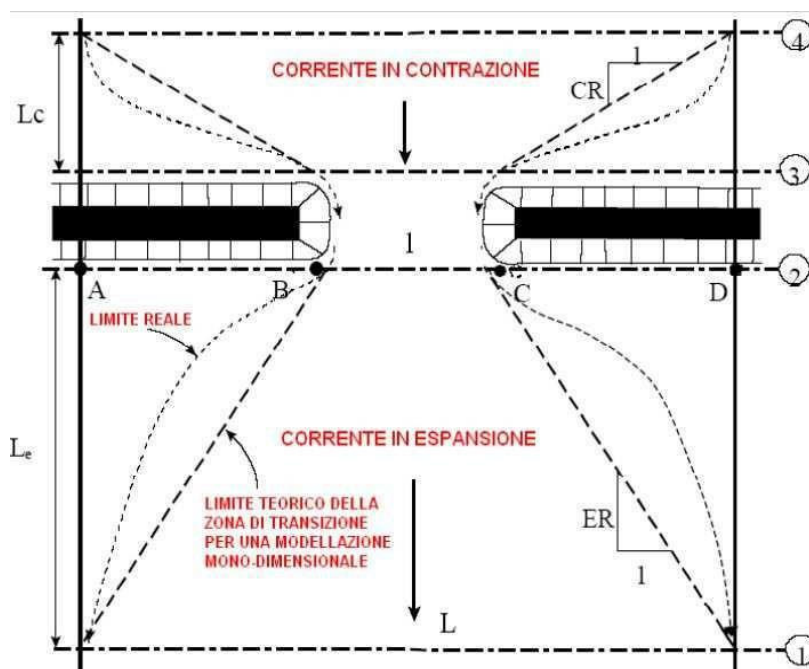
$$h_4 + \frac{a_4 V_4^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_{L4-1}$$

con:

- h_1, h_4 sono le quote della superficie libera;
- h_{L4-1} rappresenta la perdita di carico che viene calcolata di volta in volta tra le sezioni. Le perdite vengono valutate tramite il coefficiente di scabrezza n e i coefficienti di contrazione/espansione.

Nel caso di *weir flow* il programma utilizzerà le equazioni delle luci a stramazzo. Se il pelo libero raggiunge altezze molto elevate il programma riduce automaticamente la quantità di flusso, riducendo il coefficiente di sbarramento (*weir coefficient*) in base all'ammontare della sommergenza raggiunta. Quando il ponte diventa altamente sommerso, il programma passa automaticamente al calcolo delle perdite di carico utilizzando l'equazione dell'energia. Il momento in cui il programma passa all'utilizzo di tale equazione può essere modificato dall'utente.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



Il caso di *pressure flow* avviene quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. Una volta che il flusso entra in contatto con il lato a monte del ponte, nella zona si verifica un ristagno. In questo caso il programma gestisce due casi: il primo è quando solo il lato a monte del ponte è a contatto con l'acqua e il secondo è quando il ponte viene completamente sommerso. Nel primo caso il programma utilizza il metodo FHWA, nel secondo utilizza le equazioni delle luci a stramazzo. Il programma inizia il controllo del *pressure flow* quando la linea dell'energia supera la massima elevazione del *low chord*.

La risposta del *pressure flow* viene comparata a quella del *low flow* e la maggiore delle due viene considerata.

Per i calcoli in *low flow* si utilizza l'Equazione dell'energia.

Per i calcoli in *pressure flow* si è deciso di utilizzare la routine di calcolo interna al modello per la stima del coefficiente C_d in funzione del livello di sommergenza della vena rispetto all'impalcato.

Modellazione dello sfioratore laterale (lateral structures e lateral gate editor)

La rappresentazione geometrica delle *lateral structures* prevede la presenza di almeno una sezione a monte e una sezione a valle di quest'ultima.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

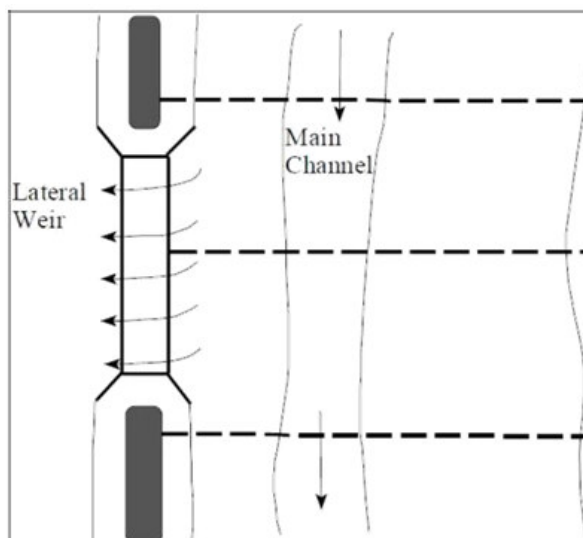
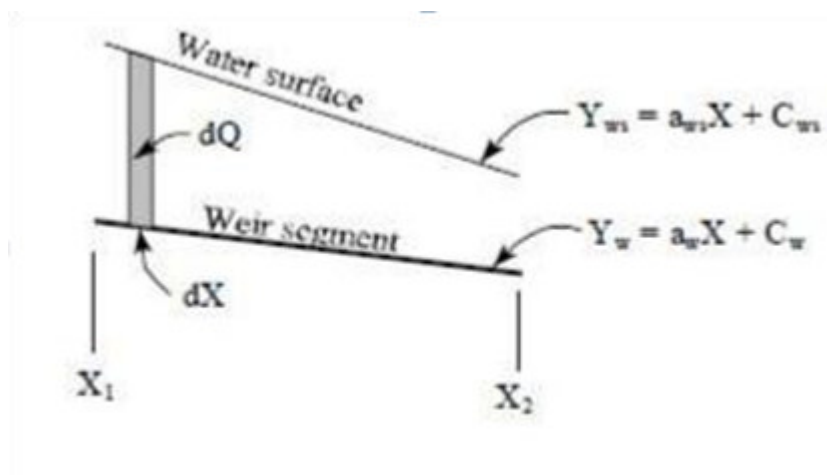


Figura 23 - Schema sfioratore laterale

Come mostrato nella figura seguente, sia la superficie dell'acqua che il terreno presentano una determinata pendenza dovendo quindi andare a derivare l'equazione dello stramazzo laterale. In figura vengono indicate l'equazione della superficie idrica e del terreno laddove le costanti a_{ws} e a_w rappresentano i coefficiente angolare delle due equazioni, mentre le variabili C_{ws} e C_w sono le costanti che rappresentano i livelli iniziali.



L'equazione dello stramazzo laterale standard ipotizza che la struttura sia parallela alla superficie idrica.

La seguente equazione generale deriva dall'integrazione dell'equazione dello stramazzo laterale andando a considerare sia la pendenza della struttura laterale che del terreno:

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{3/2} dx$$

$$dQ = C(a_{ws}x + C_{ws} - a_w x - C_w)^{3/2} dx$$

$$dQ = C((a_{ws} - a_w)x + C_{ws} - C_w)^{3/2} dx$$

posto $a_1 = a_{ws} - a_w$ e $C_1 = C_{ws} - C_w$

$$\int_{x_1}^{x_2} dQ = C \int_{x_1}^{x_2} (a_1 x + C_1)^{3/2} dx = \frac{2C}{5a_1} (a_1 x + C_1)^{5/2} \Big|_{x_1}^{x_2}$$

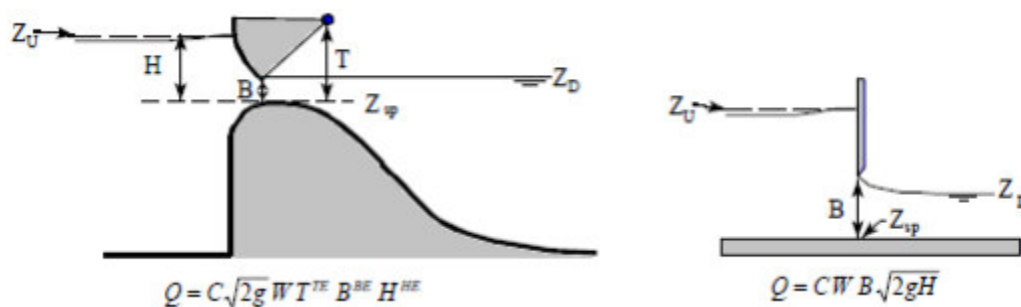
$$Q_{x_1-x_2} = \frac{2C}{5a_1} ((a_1 x_2 + C_1)^{5/2} - (a_1 x_1 + C_1)^{5/2})$$

Tale equazione è valida finché il termine a_1 è diverso da zero. Quando a_1 è nullo, la superficie dell'acqua e lo sfioratore laterale sono paralleli.

Il coefficiente di weir trattandosi di stramazzo a larga soglia viene posto pari a $C=1,705$.

Al fine di comprendere l'afflusso nella vasca di compenso tramite l'apertura, è inserito un *gate* in corrispondenza della lateral structure sopra detta. E' possibile inserire vari tipi di gate: *sluice gates*, *radial gates* e *overflow gates*.

Di seguito si riporta schema ed equazioni per il calcolo per *radial gates* and *sluice gates*:



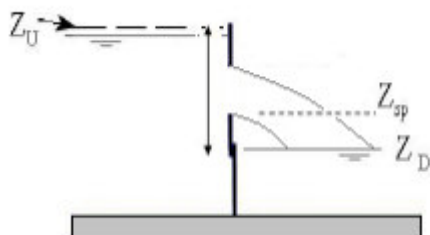
dove:

- C = coefficiente di efflusso (range 0,6-0,8)
- W [m]= larghezza gate;
- T [m]=altezza del gate;
- TE =esponente, tipicamente 0.16;

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

- $B[m]$ =apertura del gate;
- BE = esponente, tipicamente 0.72;
- H =altezza d'acqua;
- HE = esponente, tipicamente 0.62

Nel caso in esame è inserito un *overflow gate (closed top)*, poiché lo scorrimento al suo interno deve essere considerato sia a pelo libero che in pressione. Se ne riporta schema ed equazione:



$$Q = C_{weir} W H^{3/2}$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

6.2.1 Il modello di Moto Vario in Hec Ras

All'interno del programma HEC-RAS esistono tre componenti che permettono all'utente di effettuare una simulazione di moto vario riguardante un determinato tratto fluviale:

- un pre-processore di dati geometrici HTAB;
- un simulatore di moto vario UNET;
- un post-processore per l'uscita dei dati elaborati.

Il sottoprogramma UNET (Unsteady NETwork model) è stato sviluppato dal Dr. Robert Barkau a partire dal 1992, e poi perfezionato dallo stesso durante un importante studio idraulico riguardante il fiume Mississippi negli Stati Uniti.

Per il calcolo delle caratteristiche dinamiche di un corso d'acqua, UNET risolve il problema del moto vario attraverso l'applicazione delle formule che descrivono le equazioni del moto e di continuità (equazioni di De Saint Venant) alle differenze finite.

Le equazioni di de Saint Venant

Lo studio del moto dell'acqua all'interno degli alvei fluviali può essere portato avanti attraverso schemi più o meno complessi, da "monodimensionali" (solo una direzione principale di sviluppo) fino a "tridimensionali", con un grado di completezza maggiore.

La scelta dello schema va fatta a seconda delle situazioni, in quanto la complessità dell'elaborazione dei dati cresce in maniera esponenziale rispetto alla precisione di calcolo. Di solito vengono considerati degli schemi di studio unidimensionali, che spaziano dai modelli di moto uniforme a quelli di moto permanente, fino ad arrivare alle equazioni di moto vario.

Nel modello di moto vario aumentano le complessità di utilizzo, ma diminuiscono le limitazioni, in quanto non si fa alcuna ipotesi semplificativa.

Lo studio del moto delle acque negli alvei naturali si basa sostanzialmente sul modello della corrente lineare, che descrive il moto di un fluido con linee di corrente parallele fra loro e velocità trasversali costantemente nulle; in tali condizioni la distribuzione della pressione nelle sezioni trasversali è idrostatica, ovvero la quota piezometrica è costante su di esse.

Il modello implica che l'alveo sia cilindrico ed il pelo libero parallelo alla linea di fondo, condizioni queste che non si verificano nel caso delle correnti idriche defluenti entro alvei naturali; se però le variazioni delle sezioni bagnate e delle velocità nello spazio e nel tempo sono graduali, la forma della corrente è con buona approssimazione quasi cilindrica, le velocità sono approssimativamente ortogonali alle sezioni trasversali e la distribuzione della pressione in tali

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

sezioni idrostatica; la corrente viene detta perciò gradualmente variata. A stretto rigore rientra in questo schema la propagazione delle onde di piena caratterizzate da piccole curvature del pelo libero.

Indicando rispettivamente con ϑ l'angolo formato dalla tangente alla linea di fondo rispetto all'orizzontale, in genere è $\sin \vartheta \ll 1$ (al massimo pari a qualche percento) e perciò $\sin \vartheta \cong \tan \vartheta$ e $\cos \vartheta \cong 1$; in queste condizioni le sezioni trasversali sono praticamente verticali, dato che esse coincidono praticamente con quelle ortogonali alle linee di corrente.

Le equazioni che descrivono il moto vario delle correnti gradualmente variate (equazione di continuità ed equazione dinamica) si ricavano assumendo che il moto sia monodimensionale e si sviluppi in direzione dell'asse dell'alveo; indicata con x l'ascissa corrispondente alla generica sezione normale (misurata lungo la linea di fondo), si assume perciò che le variabili che descrivono lo stato della corrente dipendano solo da x e dal tempo t .

Includendo gli effetti di eventuali afflussi e deflussi laterali distribuiti, possiamo scrivere le equazioni fondamentali (De Saint Venant) che regolano il movimento dell'acqua all'interno dell'alveo fluviale nella forma generale:

$$1) \quad \frac{\delta H}{\delta x} = -\frac{1}{g} \cdot \frac{\delta U}{\delta t} - \frac{q_e U}{g \Omega} - J \quad \text{equazione del moto}$$

$$2) \quad \frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta \Omega}{\delta t} = q_e - q_u \quad \text{equazione di continuità}$$

essendo:

$$H = z_f + y + \alpha \frac{U^2}{2g} = \text{carico totale della corrente in una sezione}$$

$$\text{con } z_f = z_f(x, t) = \text{quota del fondo rispetto all'orizzontale di riferimento}$$

$$y = \text{battente idrico}$$

$$U = U(x, t) = \text{velocità media della corrente}$$

$$g = \text{accelerazione di gravità}$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

$$J = \frac{\lambda}{4R} \frac{U^2}{2g} = \frac{U^2}{C^2 g R} =$$

pendenza della linea dei carichi totali, ossia perdita di energia totale della corrente per unità di percorso (è la stessa del moto uniforme)

con R = raggio idraulico

λ = coeff. di Darcy

C = coeff. di Chezy (o di resistenza), tale che $U = CV_* = C\sqrt{gRi_f}$

$Q = Q(x, t)$ = portata transitante attraverso la sezione posta in x

$\Omega = \Omega(x, t)$ = area della sezione bagnata

q_e e q_u = portate per unità di lunghezza degli afflussi e deflussi laterali distribuiti.

L'equazione del moto si ricava imponendo che la variazione nell'unità di tempo della quantità di moto in direzione x del volume materiale V compreso all'istante t tra 2 sezioni vicine uguagli la componente F_x lungo x della risultante delle forze esterne agenti su V .

Nella pratica gli afflussi laterali continui provengono dai versanti confinanti con l'alveo in direzione pressoché normale all'asse dello stesso; il contributo di eventuali affluenti deve essere invece trattato separatamente.

I deflussi laterali derivano invece dalla tracimazione continua lungo le linee di sponda. Le espressioni delle funzioni $q_e(x, y, t)$ e $q_u(x, y, t)$ vanno determinate in base a modelli idrologici costruiti ad hoc in base alle caratteristiche delle aree contribuenti e, per quanto riguarda i deflussi, a quelle dell'alveo e delle portate massime in esso defluenti.

Per quanto riguarda poi il contributo di q_e nell'equazione del moto, esso viene generalmente considerato trascurabile e comunque di entità inferiore alle incertezze connesse con il suo calcolo.

Per quanto riguarda le resistenze al moto, il coefficiente di resistenza di Chezy viene calcolato assumendo le stesse leggi di resistenza stabilite per il caso di moto uniforme.

Per i canali a pelo libero, ove il moto avviene ordinariamente in regime assolutamente turbolento, χ risulta dunque funzione solo delle caratteristiche geometriche e fisiche della sezione: $\chi = \chi(\varepsilon, f)$, dove ε indica la scabrezza equivalente e f un coefficiente di forma,

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

sicché la perdita di carico diviene una funzione puramente quadratica della velocità della corrente.

Trascurando il contributo del fattore di forma, come è consuetudine fare nelle applicazioni ai corsi d'acqua naturali, e adottando per la legge di resistenza la formula di Gauckler-Strickler si

ha $\mathcal{K} = K_s R^{1/6}$, in cui il coefficiente di scabrezza è fornito dal parametro dimensionale K_s detto appunto indice di scabrezza di Strickler, il più usato nelle applicazioni relative agli alvei naturali.

Supposto l'alveo indeformabile, le grandezze che definiscono lo stato della corrente sono due: una geometrica (altezza d'acqua y o quota del pelo libero z o carico h) e una cinematica (velocità U o portata Q). Queste grandezze sono funzioni delle variabili x e t (moto monodimensionale). Vediamo di ridurre le equazioni di De Saint Venant a dipendenza da $Q(x, t)$ e $h(x, t)$.

In generale la sezione idraulica Ω è tale che $\Omega = \Omega(x, h(x, t))$, cioè la sezione, come geometria, cambia in funzione della x , ascissa corrente lungo l'alveo. Considerando l'equazione del moto possiamo scrivere:

$$\frac{\delta H}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta x} \left(z_f + y + \frac{U^2}{2g} \right) = \frac{\delta}{\delta x} \left(h + \frac{U^2}{2g} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{\delta H}{\delta x} = \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{2U}{2g} \cdot \frac{\delta U}{\delta x} = \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{U}{g} \cdot \frac{\delta U}{\delta x}$$

Siccome $U(x, t) = \frac{Q(x, t)}{\Omega(x, t)}$, allora

$$\frac{\delta H}{\delta x} = \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{Q}{g\Omega} \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) = -\frac{1}{g} \cdot \frac{\delta U}{\delta t} - J$$

ovvero

$$\frac{\delta h}{\delta x} = \frac{Q}{g\Omega} \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) + \frac{1}{g} \cdot \frac{\delta U}{\delta t} + J = 0$$

Considerando l'equazione di continuità, con l'ipotesi di assenza di afflussi o deflussi laterali, possiamo scrivere:

$$\frac{\delta \Omega}{\delta t} = -\frac{\delta Q}{\delta x}$$

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Abbiamo poi

$$\frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) = Q \left(-\frac{1}{\Omega^2} \frac{\delta \Omega}{\delta t} \right) + \frac{1}{\Omega} \frac{\delta Q}{\delta t} = \frac{1}{\Omega} \left(\frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{Q}{\Omega} \frac{\delta \Omega}{\delta t} \right)$$

Sostituendo otteniamo

$$\frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) = \frac{1}{\Omega} \left(\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{Q}{\Omega} \frac{\delta Q}{\delta x} \right)$$

Mettendo insieme le due equazioni ottenute

$$\frac{\delta h}{\delta x} + \frac{Q}{g\Omega} \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) + \frac{1}{g\Omega} \left(\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{Q}{\Omega} \frac{\delta Q}{\delta x} \right) + J = 0$$

Moltiplicando tutto per $g\Omega$

$$\boxed{g\Omega \left(\frac{\delta h}{\delta x} + J \right) + Q \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{Q}{\Omega} \right) + \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{Q}{\Omega} \frac{\delta Q}{\delta x} = 0}$$

Siccome la z_f , in una sezione trasversale, è costante, qualsiasi variazione di livello è variazione di carico, cioè:

$$d\Omega = B dy = B dh$$

essendo B la larghezza della sezione.

Quindi l'equazione di continuità può essere scritta come:

$$\boxed{\frac{\delta Q}{\delta x} + B \frac{\delta h}{\delta t} = 0}$$

Le due equazioni così ottenute descrivono il “Modello completo di tipo dinamico”.

Le equazioni di De Saint Venant costituiscono un sistema iperbolico di equazioni differenziali a derivate parziali del primo ordine. Dal punto di vista applicativo interessa determinare l'andamento temporale delle portate e delle altezze d'acqua in tutte le sezioni del tronco di fiume in esame durante l'evento di piena; a questo scopo è necessario conoscere i valori di Q e h (o z o h) lungo l'intero tronco di fiume al tempo $t = 0$, assunto come istante iniziale del fenomeno in studio (condizioni iniziali), e l'andamento temporale delle due grandezze in una sezione del tronco d'alveo (non necessariamente la stessa) per tutta la durata della piena oppure l'andamento temporale di una qualunque delle due grandezze in due sezioni distinte (condizioni al contorno). La condizione al contorno relativa ad una generica sezione può anche essere espressa come legame funzionale fra le due variabili dipendenti in quella sezione. Sebbene da un punto di vista

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

puramente matematico l'esistenza e l'unicità della soluzione delle equazioni di De Saint Venant siano assicurate una volta prescritte le condizioni suddette, poiché la soluzione delle equazioni viene ordinariamente costruita per via numerica risulta che, allo scopo di assicurare la convergenza dei calcoli, le due condizioni al contorno debbono essere date una nell'estremo di monte e l'altra nell'estremo di valle del tronco di fiume in esame nel caso in cui la corrente sia lenta; ciascuna condizione può essere indifferentemente del tipo $Q(t)$ o $h(t)$ oppure $y(t)$ o $z(t)$.

In genere nella sezione di monte viene assegnato l'andamento temporale delle portate, mentre in quella di valle viene assegnato l'andamento temporale delle altezze d'acqua o il legame $Q = Q(y)$.

6.3 Implementazione del modello

Per effettuare le verifiche idrauliche si è inizialmente proceduto all'inserimento dei dati geometrici delle sezioni rilevate e alla stima dei parametri di scabrezza.

In particolare è stato assegnato un coefficiente di Manning per canale principale, sponde e golene (cautelativamente) pari a 0,04 e 0,035 s/m^{1/3}, come utilizzato nel modello di AdB Arno.

La pendenza utilizzata è stata presa come media dalle sezioni rilevate da AdB Arno per la loro completezza e copertura spaziale (0,0007 m/m).

Ai fini della simulazione oltre alle sezioni rilevate lungo il tratto di Fosso interessato dal progetto è stata inserita una *lateral structure* lunga 1,30 ed una *lateral gate (overflow, closed top)*, che corrisponde alla canale in cemento armato, di dimensioni interne 1,20x0,30 m, che consente lo sfioro verso la vasca di compenso di progetto. La quota di attivazione del gate è stata posta pari a 40,20 m slm al fine di garantire l'attivazione per Tempi di Ritorno inferiori a 30 anni.

La vasca di compenso è stata modellata come una *Storage Area* di quota minima media 39,05 m slm.

Le condizioni al contorno sono:

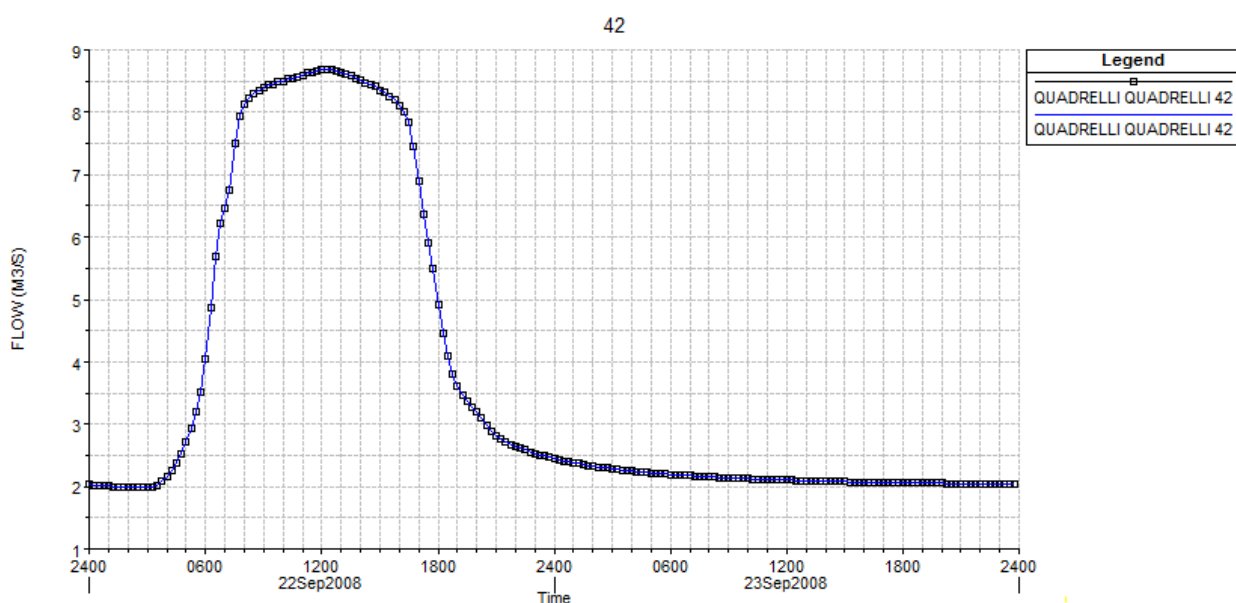
- In corrispondenza della sezione 1.4 (sezione di monte) è stato inserito il Flow Hydrograph della sezione corrispondente (n.42), risultato della simulazione fornitoci da AdB Arno tramite Data Storage System (DSS file);

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

- In corrispondenza della sezione 1.05 (sezione di valle) è stata inserita come condizione al contorno la pendenza del Fosso Dogaia dei Quadrelli interpolata dalle geometrie presenti nel modello di AdB Arno, pari a 0,0007 m/m;
- La soglia laterale di ingresso alla vasca di compenso è ipotizzata aperta per tutto il tempo della simulazione.

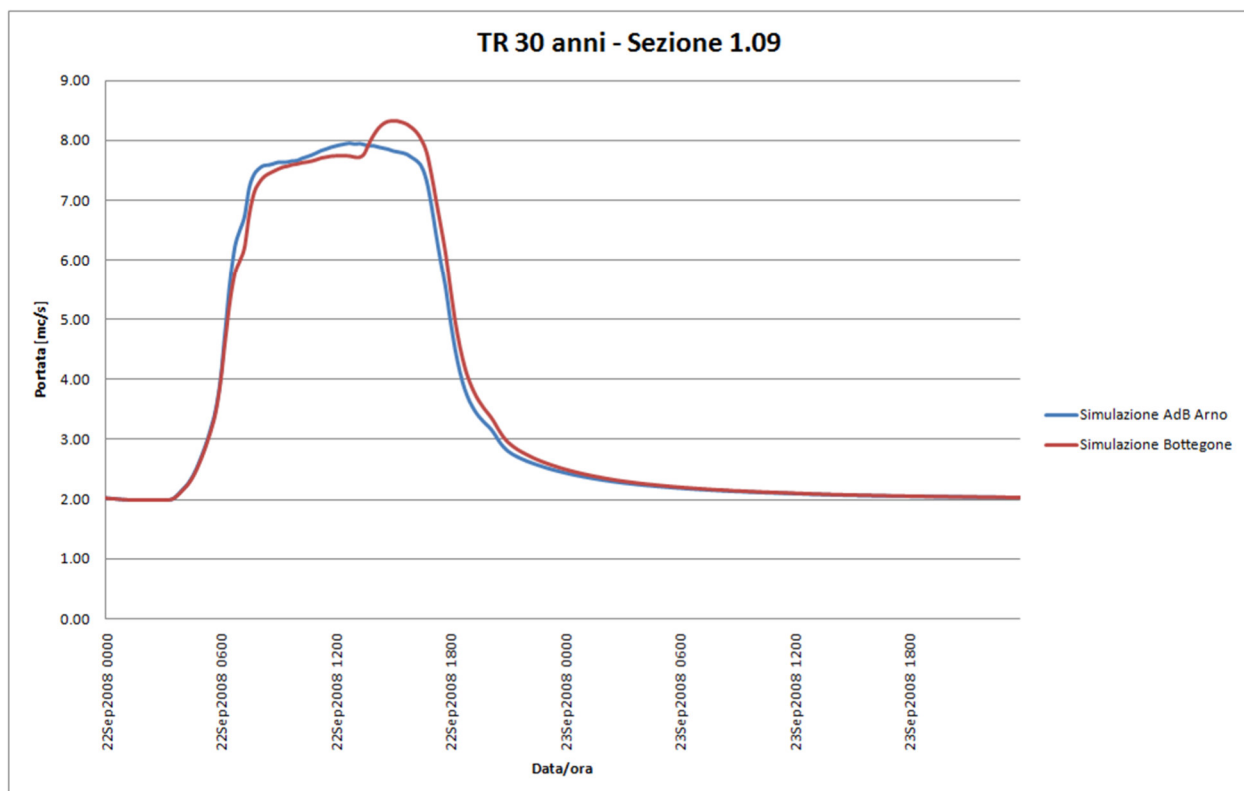
6.4 Simulazione TR 30 anni

E' stata eseguita la simulazione considerando gli idrogrammi di piena Flow Hydrograph fornitoci (TR30_8H_NEW) e di seguito riportato:

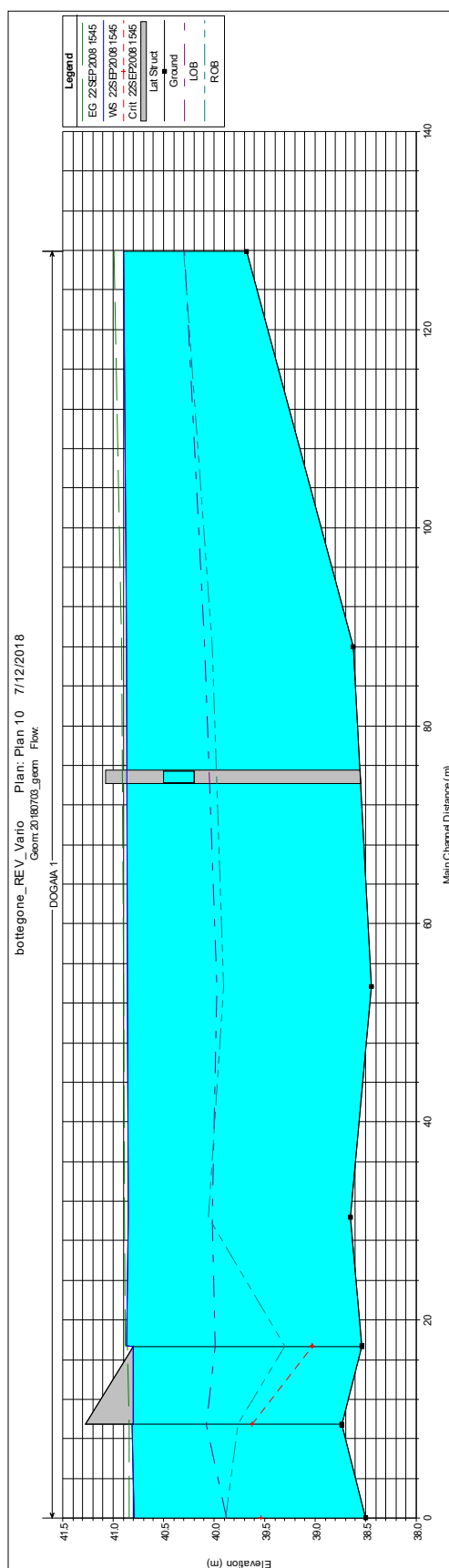


I risultati delle simulazioni effettuate sono in linea con i risultati delle simulazioni di AdB Arno sia in termini di livelli (a meno di lievi differenze tra i rilievi di AdB Arno e i rilievi eseguiti in fase di progettazione) che di andamento degli idrogrammi di piena :

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

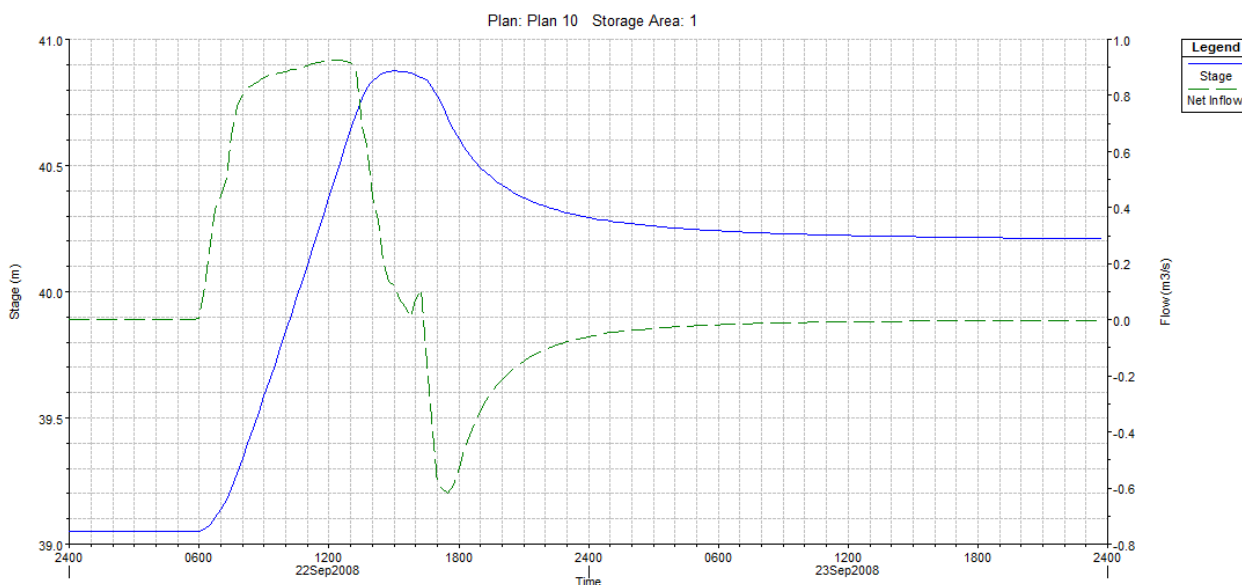


| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

L'idrogramma di piena simulato della sezione 1.09 (corrispondente alla sezione 41 della simulazione di AdB Arno), evidenzia una diminuzione di portata alle ore 6.00, in corrispondenza dell'attivazione della soglia laterale e derivazione verso la vasca di compenso.

L'aumento di portata alle ore 12 è invece assimilabile al rigurgito della corrente dovuto alla presenza del ponte a valle della sezione 1.09. Il ponte non è infatti presente nel modello di AdB Arno.

L'attivazione dello sfioro laterale verso il volume di compenso alle ore 6.00 è evidenziato anche nel grafico di stage and Flow Hydrographs relativo alla vasca di compenso di seguito riportato:



La simulazione effettuata ha evidenziato un effetto di laminazione, seppur limitato, dovuto alla presenza del volume compenso in progetto.

Alla fine dell'evento TR 30 anni la vasca ha incamerato circa 14940 mc.

La simulazione ha evidenziato che, allorchè la portata transitante nel Fosso Dogaia dei Quadrelli è elevata, la portata in ingresso alla vasca di compenso è maggiore di 50 l/s.

La paratoia in progetto posta in corrispondenza della bocca di ingresso alla vasca potrà essere settata dinamicamente (attuatore elettrico di azionamento+sonda livello ultrasuoni) al fine di regolare l'immissione del flusso idrico. La paratoia sarà dotata di volantino manuale di manovra in caso di malfunzionamento dell'attuatore elettrico di azionamento.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

In Allegato si riportano i risultati della simulazione del tratto di studio del Fosso Dogaia dei Quadrelli per:

- Massimo Water Surface (MAX WS, picco idrogramma $Q_{max}=8,23$ mc/s);
- Ore 6.00, prima dell'attivazione dello sfioro verso le vasche di compenso;
- Ore 6.30, successivamente all'attivazione dello sfioro

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

7 Prescrizioni Conferenza dei Servizi – Decreto AIT n.11/2019

Il progetto definitivo per la realizzazione del nuovo impianto di depurazione in località Bottegone, di cui questa relazione è parte integrante, è stato approvato con Decreto AIT n. 11 del 15/02/2019.

In tale decreto sono contenute alcune prescrizioni emerse durante i lavori della Conferenza, tra cui la seguente:

“in sede di progettazione esecutiva dovranno essere previste tubazioni di adeguato diametro per ogni lato della vasca di compenso, dotate di valvola di non ritorno lato vasca, al fine di garantire la trasparenza idraulica rispetto ad allagamenti dell’area”.

Per ottemperare a quanto sopra riportato è stato previsto l’inserimento di tubazioni, di diverso diametro, su quei lati della vasca di compenso che fiancheggiano il reticolo idraulico di progetto.

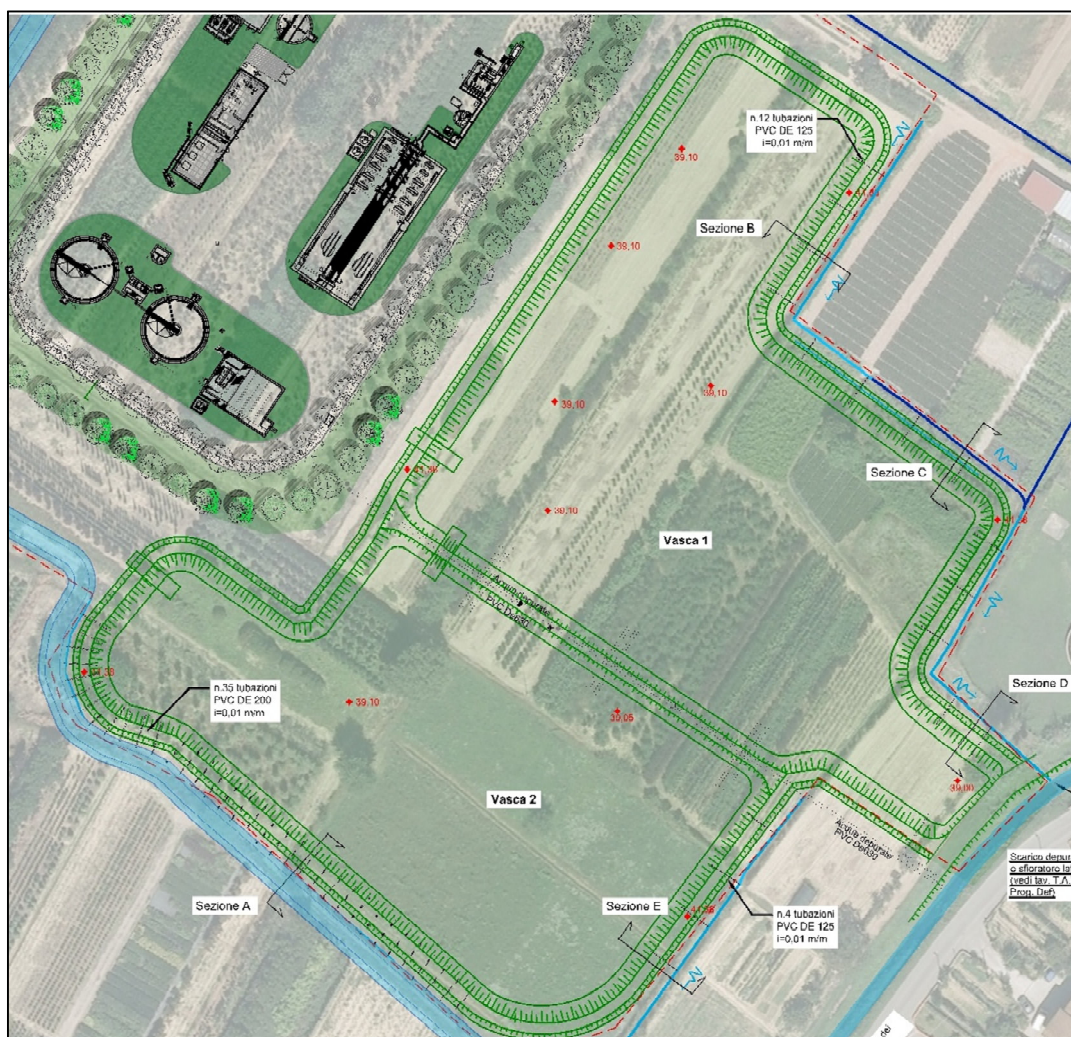


Figura 24- Estratto dell’elaborato T.A.M.1b - Opere riduzione rischio idraulico - Trasparenza idraulica allagamenti area - Prescrizioni CdS - Decreto AIT n.11/19

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

Per il dimensionamento di tale sistema, relativamente al Capofosso A, come riprofilato secondo la progettazione qui descritta, è stato fatto riferimento alla portata stimata con il Metodo della Corrivazione per TR 30 anni (§ 5.2.4), pari a 1,16 mc/s.

Le tubazioni che dal Capofosso A scarichino nel Volume di Compenso sono state posizionate con la quota di scorrimento al livello della portata Tr30 in alveo.

Per garantire che tali tubazioni non siano compromesse dal passaggio dei mezzi sull'argine del Capofosso è necessario garantire un franco di ricoprimento minimo.

Queste considerazioni hanno portato a definire il Diametro esterno massimo delle tubazioni. Si è quindi scelto di utilizzare tubazioni in PVC DE200.

Per il calcolo dell portata di una condotta circolare a pelo libero si è utilizzato la formula di Chezy con coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler:

$$v = kR^{2/3}i^{1/2}$$

Ipotizzando i seguenti dati:

coefficiente di scabrezza $K = 95$;

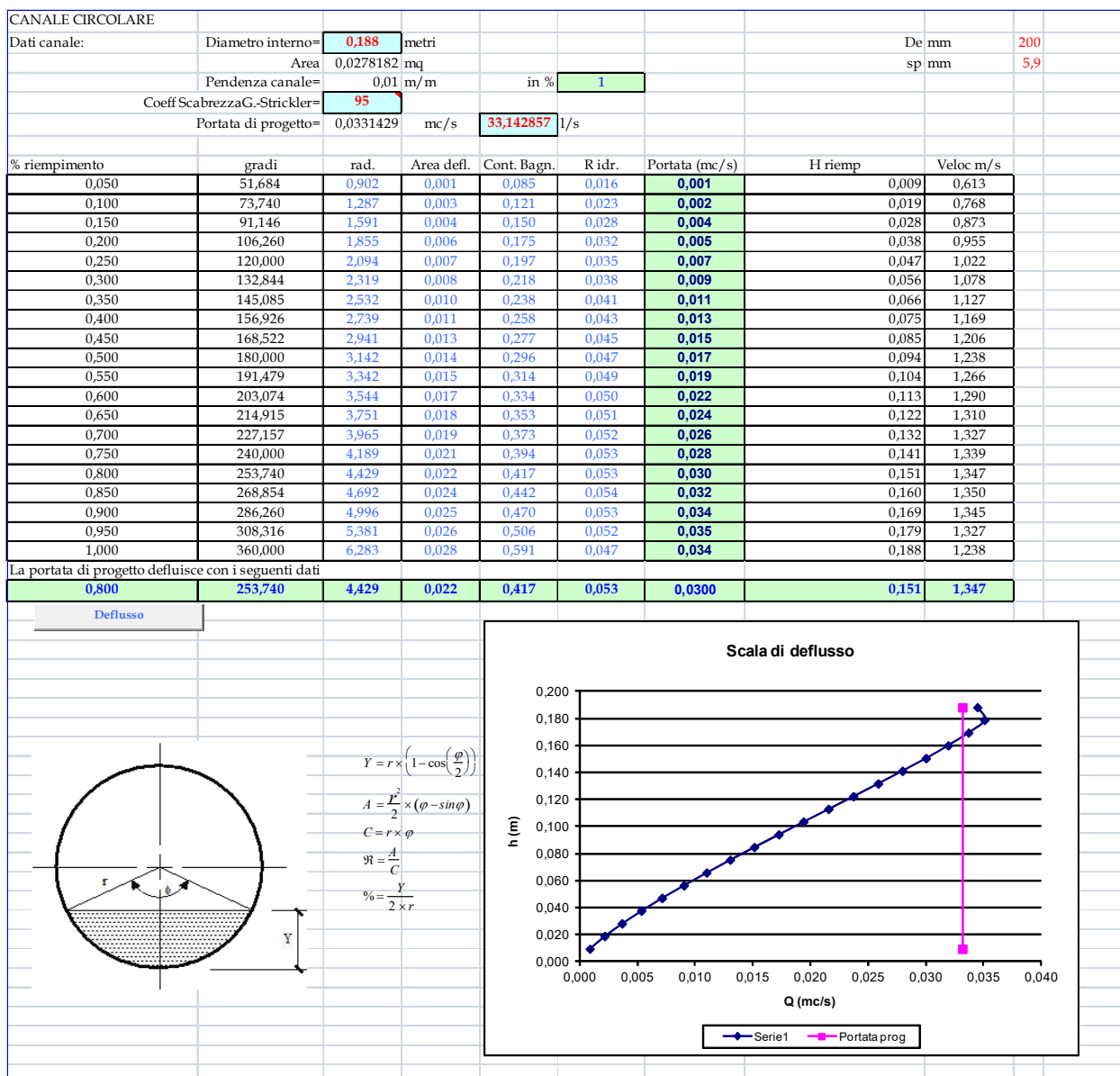
coefficiente di riempimento $w = 80\%$;

pendenza $i = 0,01$ m/m;

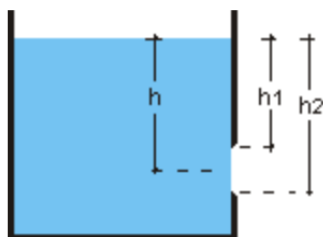
la portata smaltita da una singola tubazione è pari a 0,00336 mc/s, da che risulta che devono essere inserite n. 35 tubazioni per garantire uno smaltimento globale di 1,16 mc/s.

Di seguito si riporta la scala di deflusso di una singola condotta di progetto, per una portata di 33,143 l/s.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |



E' stata poi condotta una verifica ipotizzando che il sistema possa entrare in pressione, in tal caso si è fatto riferimento per il calcolo della portata a una luce con tubo esterno con sezione circolare completamente sommersa sotto il pelo libero, come schematizzato nella figura seguente.



Il carico h è la distanza fra il baricentro della luce ed il pelo libero.
Il battente h_1 è la distanza fra la sommità superiore della luce ed il pelo libero.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |

La lunghezza del tronco deve essere sufficiente in modo da consentire il riattacco della vena contratta ma non tale da determinare perdite continue significative. E' in genere sufficiente la lunghezza di un paio di diametri per assicurare le precedenti condizioni. E' anche riportabile a questo caso l'efflusso da parete grossa ($s > 2.5D$); la vena si riempie internamente l'imboccatura e la portata risulta alquanto più elevata dell'efflusso da parete sottile.

La portata Q defluente attraverso la sezione risulta:

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$

al coefficiente di contrazione μ può essere attribuito il valore di 0,82.

Quindi ipotizzando h fino a coronamento dell'argine e pari a 0,4489 m, si ha che la portata effluente dalla luce e quindi da un singolo tubo è pari a 0,6768 mc/s, supponendo che entrino in pressione tutti i 35 tubi la portata che può transitare è pari a 2,3688 mc/s.

Nei tratti in cui i canali irrigui fiancheggino la vasca di compenso sono stati inserite delle tubazioni DE 125, anche in questo caso la dimensione delle tubazioni è vincolata al loro posizionamento al di sotto degli argini dei canali.

Nell'elaborato grafico T.A.M.1 - Opere riduzione rischio idraulico - Trasparenza idraulica allagamenti area - Prescrizioni CdS - Decreto AIT n.11/19, è riportato il dettaglio planimetrico dell'inserimento delle tubazioni, nonché il loro posizionamento in sezione.

| | | | |
|--|--|---------|-----------------------|
| Opere per la riduzione del rischio idraulico | Progetto Esecutivo | Redatto | Controllato-Approvato |
| | NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT) | Camici | Del Bimbo |