

COMUNE DI COLOGNE

Provincia di Brescia



P.I.I. IN VARIANTE AL PGT VIGENTE AI SENSI DELL'ART. 14 E 92 DELLA L.R. N. 12/2005 E S.M.I.
"RIQUALIFICAZIONE DEL COMPARTO URBANO POSTO TRA VIA S. EUSEBIO E VIA S. MARIA E VIA D. ALIGHIERI,
MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITA' POLIFUNZIONALI UNITAMENTE AD OPERA PUBBLICA STRATEGICA"

committente

MONDINI S.r.l.

G. MONDINI S.p.A.

coordinamento progettazione
tecno habitat S.r.l.
Società di Ingegneria

Via Natale Battaglia 22, 20127 Milano
T +39.02.2614 8322 - thmi@tecnohabitat.com

progettazione architettonica
studio castiglioni & nardi
architetti associati

Via Generale Cantore 36, 21100 Varese
T +39.0332.232191 - info@studiocastiglioniinardi.it

oggetto

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

RT

C

data

10/12/2019

aggiornamenti

tecnico progettista

timbro e firma

MONDINI SRL

Via XX Settembre 22/a – 25121 Brescia

G MONDINI SPA

Via Brescia 5/7 – 25030 Cologne (BS)

STUDIO IDRAULICO

Dicembre 2019

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3	RILIEVO TOPOGRAFICO.....	6
4	DESCRIZIONE SINTETICA DELLA PROCEDURA DI CALCOLO	6
5	CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO	6
6	CURVA POSSIBILITA' CLIMATICA	7
7	PORTATA DI PIENA.....	7
	7.1 Definizione tempo di corrivazione	7
	7.2 Coefficiente di deflusso.....	8
	7.3 Portata di piena - metodo Giandotti Visentini.....	11
8	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	12
	8.1 Capacità di trasporto della roggia e della tombinatura	12
9	INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	15
	9.1 Calcolo altezza di sfioro	15
	9.2 Calcolo lunghezza di sfioro	15
	9.3 Dimensionamento trincea drenante	17
10	CONCLUSIONI	20

ALLEGATI

- Tabella ARPA - determinazione curva di possibilità climatica
- Tabella n°1: scala di deflusso alveo naturale
- Tabella n°2: compatibilità idraulica tombinatura
- Tabella n°3: dimensionamento soglia sfiorante
- Tabella n°4: dimensionamento trincea drenante – intervento di mitigazione idraulica

1 INTRODUZIONE

Nella presente trattazione lo scrivente Ing. Michelangelo Aliverti illustra le principali linee d'impostazione progettuale relative agli interventi di mitigazione del rischio idraulico da prevedere nel comune di Cologne (BS) sulla roggia transitante in fregio all'area su cui sorgerà il nuovo insediamento produttivo della Mondini spa, al fine di limitarne le periodiche esondazioni.



Fig. 1 area d'intervento – opere di mitigazione idraulica

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame si trova nella porzione occidentale dell'abitato di Cologne (BS) in un'area completamente pianeggiante posta ad una quota topografica di circa 180 m.s.l.m. in un contesto a morfologia subpianeggiante, con lieve pendenza in direzione sud e sud-est.

Il tratto di canale idrografico oggetto di studio ha origine nel comune di Cologne all'altezza di via Cappuccini; esso dapprima si sviluppa per oltre 600 metri lungo terreni coltivati, quindi in corrispondenza del cimitero comunale viene tombinato per poi "riemergere a cielo aperto" in prossimità del fronte Est dell'area d'intervento fino all'intersezione con via Kennedy, per una lunghezza complessiva di circa 1,2 km.

Ai fini della presente trattazione si considera il bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura assunta a monte dell'area cimiteriale (vedi fig.2), cioè in corrispondenza della sezione di deflusso iniziale della tombinatura.

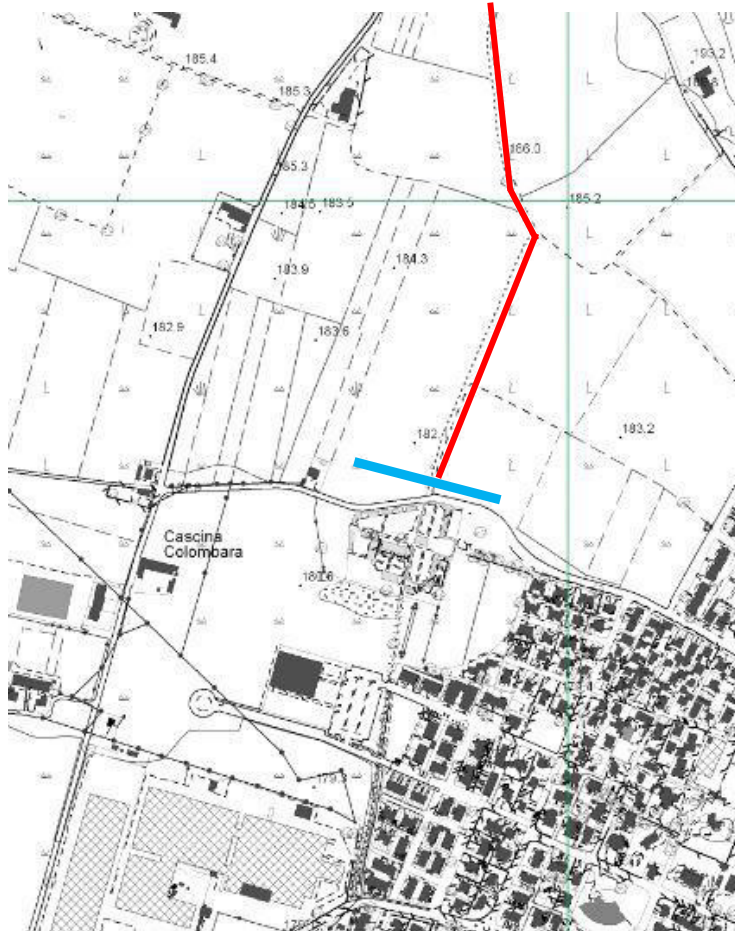


Fig. 2 - tratto di roggia oggetto di studio (rosso) e sezione di chiusura bacino (azzurro)



Fig. 3 – sopralluogo del 31.07.2019 alveo roggia-sezione di chiusura (azzurro)

Consultando la Carta di Fattibilità Geologica Comunale emerge come la roggia di cui sopra provochi periodici allagamenti nelle aree oggetto d'indagine.

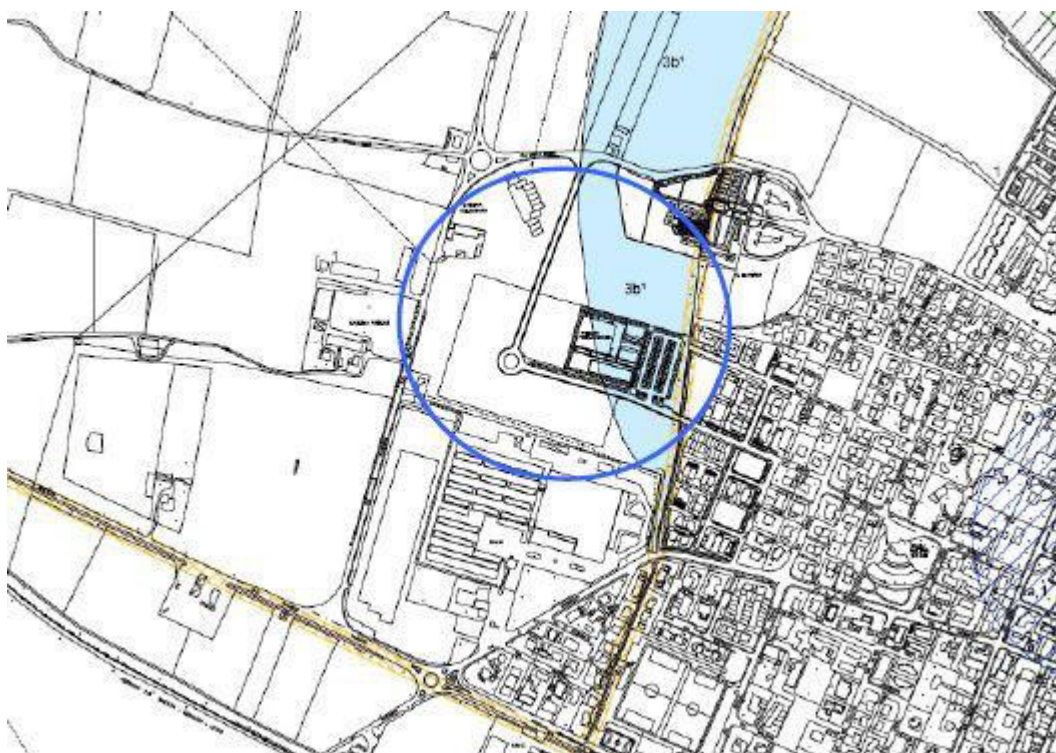


Fig. 4 - aree azzurre periodicamente allagate

3 RILIEVO TOPOGRAFICO

In data 31.07.19 si è provveduto a effettuare in loco un rilievo topografico puntuale dell'area interessata dal transito del canale e della succitata tombinatura.

Fin da subito si è rilevato come le sponde e il fondo del canale fossero caratterizzate da scarsa manutenzione: si segnala infatti la consistente presenza di arbusti, rifiuti, materiale litoide, etc. che possono "parzializzare" la sezione di deflusso arrecando disturbo all'assolvimento di sgrondo delle acque meteoriche.

4 DESCRIZIONE SINTETICA DELLA PROCEDURA DI CALCOLO

Fissate e definite preliminarmente le caratteristiche morfometriche del bacino idrografico in esame e individuata la relativa sezione di chiusura SdC, si adotta la seguente procedura di calcolo:

1. Determinazione della curva di possibilità climatica avente $T=100$ anni
2. Determinazione della portata di piena di ($T=100$ anni)
3. Verifica di compatibilità idraulica della roggia e della tombinatura in relazione alla portata di cui al p.to 2
4. Interventi di mitigazione del rischio di esondazione
5. Dimensionamento soglia sfiorante
6. Dimensionamento trincea drenante
7. Conclusioni

5 CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

In generale il bacino idrografico si può definire come il luogo che raccoglie le precipitazioni e le trasforma in deflussi superficiali e sotterranei; la sezione di chiusura rappresenta generalmente una qualunque sezione del sistema di drenaggio che sottende un bacino o una porzione di esso attraverso cui si calcola la portata di piena derivante dall'afflusso meteorico ricadente su tale area.

Ai fini della presente trattazione si considera il bacino idrografico della roggia avente sezione di chiusura appena a monte dell'area cimiteriale (vedi fig.2), cioè in corrispondenza della sezione di testa della tombinatura succitata.

Di seguito le principali grandezze caratteristiche:

- | | |
|---|--|
| - Superficie sottesa | $S[\text{km}^2] = 0,2$ |
| - Lunghezza del percorso idraulicamente più lungo | $L[\text{km}] = 0,65$ |
| - Dislivello ($H_m - H_0$) | $\Delta[\text{m}] = (186 - 182,1) = 3,9$ |
| - Pendenza media dell'asta principale | $i_m [\%] = 0,6$ |

6 CURVA POSSIBILITA' CLIMATICA

In idrologia, le curve di possibilità pluviometrica sono particolari tipi di curve che esprimono la relazione tra le altezze massime e le durate di pioggia che si possono verificare in una determinata zona, per un assegnato valore del periodo di ritorno.

La curva pluviometrica con T=100 anni, espressa sotto forma di monomia ($a \cdot t^n$)

è: **63,76 t^{0,28}**

Per maggior chiarezza si rimanda alla tabella di calcolo ARPA in allegato

7 PORTATA DI PIENA

E' noto che la portata al colmo nella sezione di chiusura di un corso idrico superficiale non dipende soltanto dall'afflusso medio sul bacino imbrifero, ma è influenzata dalla distribuzione della precipitazione sullo stesso bacino e dallo spostamento della meteora.

Nel caso in esame, vista la limitata estensione del bacino imbrifero, si opta di non effettuare alcun ragguaglio areale dei valori di pioggia puntuale dal momento che nella definizione dei fattori di ragguaglio sussiste ancora una certa ambiguità.

7.1 Definizione tempo di corrivazione

Il tempo impiegato dalla goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino prende il nome di tempo di corrivazione (con il nome di corrivazione si indica normalmente il moto di un velo d'acqua che scorre sopra una superficie). A ogni punto del bacino corrisponde dunque un particolare valore di tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, cioè il punto dello spartiacque da cui ha origine l'asta principale della rete idrografica.

Il tempo di corrivazione di questo punto, dall'origine sullo spartiacque topografico alla sezione di chiusura, e che risulta il maggiore tra quelli dei diversi punti del bacino, viene denominato tempo di corrivazione del bacino.

Nel caso in esame il tempo di corrivazione è stato calcolato mediante la relazione di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8(H_m - H_0)^{0,5}}$$

dove

$S = 0,2 \text{ kmq}$ (superficie del bacino sotteso alla sezione di chiusura)

$L = 0,65 \text{ km}$ (lunghezza asta principale)

$H_m = +184 \text{ m.s.l.m.}$ (altitudine media bacino)

$H_0 = +182,1 \text{ m.s.l.m.}$ (altitudine sezione di chiusura considerata)

Si ottiene un tempo di corrivazione pari a $t_c = 2,51 \text{ h} = 150 \text{ min}$

7.2 Coefficiente di deflusso

Per calcolare la pioggia che contribuisce al deflusso diretto in corrispondenza di SdC è necessario individuare quella parte di essa che viene persa per invaso del terreno

La stima della pioggia effettiva è stata effettuata con il metodo del Curve Number (CN), introdotto dal SCS (Soil Conservation Service, 1972).

Tale metodo è largamente impiegato in campo idrologico per la sua facilità di applicazione e per la sua discreta affidabilità.

Esso si basa sulla seguente equazione:

$$P_{net} = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S)$$

con

P_{net} = altezza di pioggia netta

P = altezza pioggia lorda

S = massimo volume specifico che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione

I_a = perdita iniziale

I due parametri S ed I_a sono stati rispettivamente determinati con le seguenti formule:

$$I_a = 0,2S$$

$$S = (25400 / CN - 254)$$

Il valore di CN varia tra 0 e 100 in funzione del tipo di suolo e del contenuto di acqua iniziale.

In particolare sulla base del contenuto iniziale, definito in termini di classi di valori del parametro API5, vengono distinte tre categorie di CN: CN(I), CN(II), CN(III) come indicato nella tabella sottostante.

Categoria di umidità	Stagione con vegetazione ferma	Stagione con vegetazione crescente
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 ÷ 1.1	1.4 ÷ 2.1
III	> 1.1	> 2.1

I valori di CNII sono tabulati in funzione del tipo e dell'uso di suolo.

I valori di CN(I) e CN(III) sono ricavabili da CN(II) mediante le seguenti relazioni empiriche:

$$CN(I) = (4,2 \cdot CNII) / (10 - 0,058 \cdot CNII)$$

$$CN(III) = (23 \cdot CNII) / (10 + 0,13 \cdot CNII)$$

Ai fini della determinazione del parametro CN(II) si è fatto riferimento alle tabelle di cui sotto:

Tipo di copertura	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terrano coltivato				
senza interventi di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terrano da pascolo				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
buone condizioni	30	58	71	78
Terrani boscosi o forestati				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
buone condizioni, con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Arece commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Arece residenziali				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 58%	61	75	83	87
impermeabilità media 50%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
inghiainate o selciate con buche	76	85	89	91
in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Gruppo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta Comprende la maggior parte dei suoli sottili e contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione
D	Potenzialità di deflusso molto alta Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie

Una volta fissati e ricavati tutti i parametri in gioco si procede alla stima della P_{net} che rappresenta uno spessore effettivo di pioggia cumulato.

In riferimento al regime pluviometrico descritto al paragrafo precedente e all'assunzione di determinate caratteristiche di deflusso e di copertura del sottobacino in esame si è ricavato un coefficiente di deflusso **C=0,33** (per T=100 anni)

METODO CN		
A bacino sotteso [kmq]	0,2	
i_m [m/m]	0,006	
L [m]	650	
Δ [m]	3,9	
1) determinare CN da tabella 4.20	CN	80
2) determinare categoria da tabella 4.21	Categoria	II
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	63,5
4) determinare la	$la=0,2S$ [mm]	12,7
5) curva di possibilità climatica (T=100 anni)	$63,76 \text{ t}^{0,28}$	
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$T_c = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,73
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$T_c = 0,108*(A*L)^{1/3} i_m^{-0,5}$ [h]	0,71
8) media T di corrivazione		0,72
9) determinare afflusso lordo $P(t=T_c)$	$P(T_c) = 63,76*0,72^{0,28}$ [mm]	58,15
10) determinare afflusso netto $P_N(T_c)$	$P_N(T_c) = (P(T_c)-la)^2/(P(T_c)-la+S)$ [mm]	18,96
11) determinare coefficiente afflusso	$\varphi = P_N(T_c)/P(T_c)$	0,33

Fig. 5 - metodo CN per la determinazione del coefficiente di afflusso

7.3 Portata di piena - metodo Giandotti Visentini

Una volta definiti i principali parametri idrologici si è potuto stimare la portata di piena attraverso il metodo analitico di Giandotti-Visentini.

Si è ricavato che la portata di piena (associata a T=100 anni) del bacino in esame sotteso alla sezione di chiusura SdC (inizio tombinatura) ammonta a $Q_{100}=1,30$ mc/s

Di seguito si riporta la relativa tabella di calcolo.

Giandotti e Visentini		
Q₁₀₀	1,3 m³/s	
		6,5 m³/s/km²
C	0,33	
pc	50,1	mm (riferito Giandotti)
A	0,2	km ²
tc	2,51	ore
L	0,65	km
H	2	m quota media
pmax	155	mm/24h pioggia max

Fig. 6 - portata di piena - metodo Giandotti Visentini

8 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Nel presente capitolo, in relazione alla portata centennale calcolata ai precedenti paragrafi ($Q_{100}=1,3 \text{ mc/s}$) si verifica la compatibilità idraulica del tratto di roggia in esame e dell'esistente tombinatura in cls avente diametro interno $\varnothing=1000 \text{ mm}$.

8.1 Capacità di trasporto della roggia e della tombinatura

Il canale a cielo aperto si sviluppa in modo uniforme con sezione di tipo trapezoidale.

Ai fini della presente trattazione si assume la sezione X-X' come quella tipologica:

- base minore b: 1,50 m
- base maggiore B: 4,00 m (sommità sponde)
- altezza H: 1,05 m

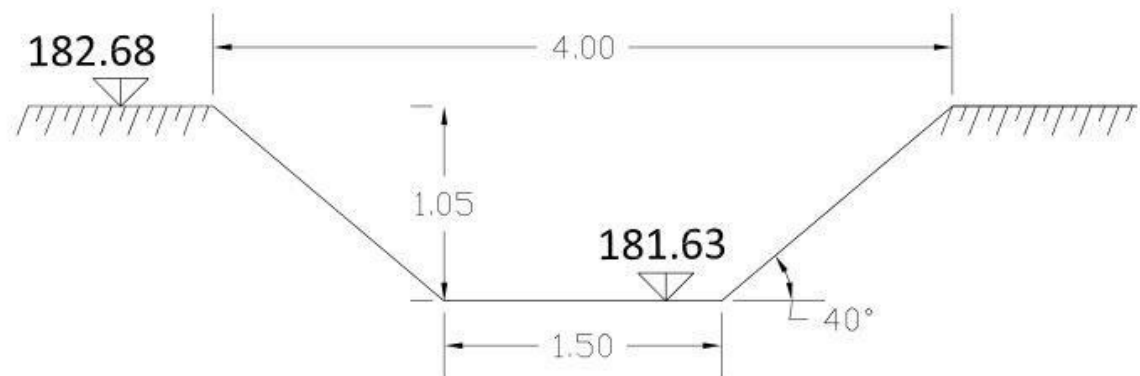


Fig. 7 – sezione tipologica alveo – sez. X-X'

Dal rilievo in allegato si ricava anche la pendenza media del tratto in esame ammonta a:

$$p = (182,05 - 181,63) / 73 = 0,0057 \text{ m/m}$$

La determinazione della capacità di trasporto del canale in esame è stata condotta applicando uno schema di calcolo idrodinamico locale, utilizzando la formulazione proposta da Chezy del moto uniforme, nel seguito riportata, sulla base dei dati geometrici rilevati durante i sopralluoghi e ricavati consultando la cartografia web disponibile.

$$Q_u [\text{mc/s}] = k_s \times i \times A^2 \times R^{2/3} / 1000$$

dove:

- i [m/m] è la pendenza media del canale
- A [m²] è l'area occupata dalla corrente;
- R [m] è il raggio idraulico;
- k_s è la conduttanza, dipendente dal materiale con cui è rivestito il canale

A ed R dipendono ovviamente dal grado di riempimento assunto, ovvero dall'altezza di corrente h [m].

Nella scelta dei parametri di scabrezza utilizzati nelle verifiche idrauliche si è fatto riferimento ai valori relativi alla formulazione di Strickler indicati nella Tabella sottostante

Descrizione corso d'acqua	Coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}s^{-1}$)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee in buono stato)	35-40
Corsi d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45
Tombinature perfettamente lisce e dotate a monte di dispositivi atti ad assicurare la trattenuta di trasporto solido e in sospensione (briglie selettive, vasche di sedimentazioni, ecc.)	45-55

Fig.8 - coefficienti di scabrezza

Assumendo $K_s=25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ e $p=0,005 \text{ m/m}$ si ottiene che l'alveo a completo riempimento (cioè $h_0=1,05 \text{ m}$) è in grado di smaltire $Q=3,65 \text{ mc/s}$;

Al verificarsi della portata centennale di cui ai capitoli precedenti ($Q_{100}=1,3 \text{ mc/s}$) il tirante associato vale $h_0=0,61 \text{ m}$.

Per maggior chiarezza si rimanda alla tabella n°1 in allegato e alla figura sottostante.

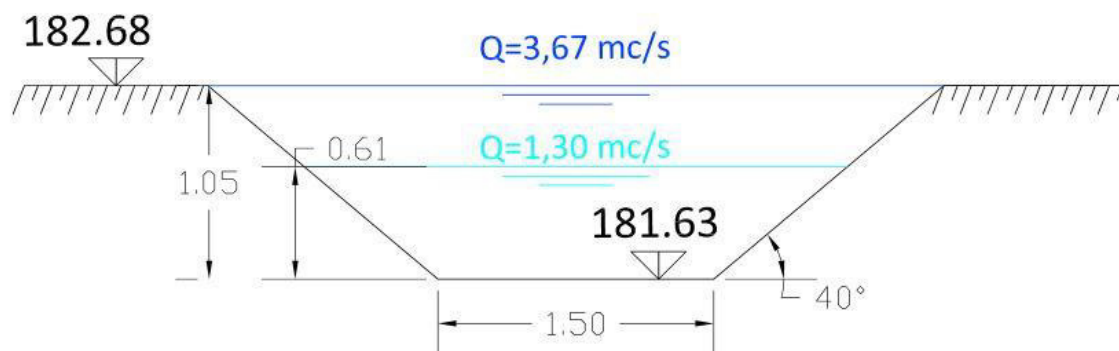


Fig.9 - sezione di deflusso roggia

Da tali valori di portata si desume come i periodici allagamenti siano da imputarsi, oltre alla sporadica manutenzione del canale, all'insufficiente capacità di trasporto del tratto tombinato avente diametro interno $\varnothing=1000 \text{ mm}$ e non al tratto di canale a cielo aperto.

Infatti adottando la medesima procedura di cui sopra e assumendo $K_s=40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ e $p=0,005 \text{ m/m}$ al verificarsi della portata centennale $Q_{100}=1,3 \text{ mc/s}$, la succitata tombinatura entra in pressione rappresentando, di fatto, una "strozzatura" al naturale deflusso delle portate di piena (percentuale di riempimento: 117%). La massima capacità di trasporto della tombinatura (percentuale di riempimento: 100%) risulta pari a $Q=0,858 \text{ mc/sec}$

Per maggiore chiarezza si rimanda alla Tabella di calcolo n°2 in allegato.

9 INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Poiché la tombinatura esistente Ø1000 è in grado di trasportare a completo riempimento una portata massima di circa 850 l/s (a fronte dei potenziali 1.300 l/s in arrivo alla sezione di chiusura) è necessario prevedere opere di mitigazione del rischio idraulico per evitare periodici allagamenti.

In via cautelativa si adotta che la massima percentuale di riempimento della tombinatura ammonti al 70%; ciò corrisponde ad una capacità di trasporto di $Q=739$ l/s (vedi Tabella di calcolo n°2 in allegato).

Dunque si prevede di realizzare uno sfioratore laterale che non influisca sulle portate inferiori a $730\div740$ l/s, che continueranno a defluire entro l'esistente tombinatura.

A lato della soglia verrà realizzata una "vasca di calma" in cls da cui dipartiranno n°2 tubazioni forate che conferiranno le acque sfiorate entro una trincea drenante costituita semplicemente da uno scavo riempito di ghiaia lavata di media pezzatura.

Circa i dimensionamenti si rimanda ai successivi paragrafi e alle tabelle di calcolo in allegato.

9.1 Calcolo altezza di sfioro

Per determinare l'altezza della soglia sfiorante si è costruita la scala delle portate dell'alveo naturale assumendo le medesime caratteristiche di cui ai capitoli precedenti e utilizzando la nota formula di Chezy.

Si evince che con un tirante $h_0=0,44$ m la portata massima transitante in alveo sia di circa 730 l/s; Pertanto si assume che a tale quota si realizzi la soglia di sfioro (vedi Tabella n°1 in allegato).

9.2 Calcolo lunghezza di sfioro

Nel caso specifico s'innescano profili di rigurgito idraulico (alveo a debole pendenza)

In generale al verificarsi di una sottrazione portata è possibile considerare, al variare della portata, costante l'energia idraulica E .

Per trovare la lunghezza dello sfioratore laterale si utilizzano verifiche energetiche.

L'equazione della curva "energetica" che lega h e Q è

- $q=Bh[2g(E-h)]^{1/2}$

La determinazione dell'altezza di corrente critica è data dalla seguente equazione

- $K=[(Q^2/gB^2)]^{(1/3)}$

dove B è la larghezza media dell'alveo in funzione del tirante idrico associato.

Si assumono $Q_{monte}=1300$ l/s e $Q_{valle}=739$ l/s

L'altezza di moto uniforme associata alla Q_{valle} è pari a circa $h_0=0,44$ m (Chezy in moto uniforme – vedi paragrafo 8.1)

L'energia di valle è pari a $E_v = h_0 + [(Q_{valle})/(2g((B+b)/2)^2)] = 0,449$ m

L'altezza di stato critico risulta pari a $K=0,297$ da cui si ricava il valore dell'energia critica è $E_c = 3/2 K = 0,446$ m (vedi Tabella n°3 in allegato).

Poiché $E_c < E_v$, l'energia per lo sfioro è sufficiente.

Si è costruito il grafico dell'energia tenendo conto che $E = E_0$

Quindi con i valori di Q_{monte} e Q_{valle} si sono ricavate rispettivamente:

$h_{monte} = 0,37$ m

$h_{valle} = 0,44$ m

da cui un $\Delta h = h_{valle} - h_{monte} = 0,07$ m

Essendo in un alveo a debole pendenza per calcolare la lunghezza dello sfioratore occorre una funzione che legghi l'altezza di acqua con l'ascissa x orientata come la corrente e presa positiva da sinistra a destra.

Dunque essendo un alveo a debole pendenza si è partiti da valle dando ascissa zero e si è proceduto verso monte.

Indichiamo con

- i : generica sezione
- $i+1$: la corrispondente sezione successiva

L'equazione da utilizzare si basa sull'uguaglianza delle spinte nelle n°2 sezioni ($i, i+1$) è la seguente:

$$Q_{i+1} - Q_i = -[(q_{ui} - q_{ui+1})/2] * (x_{i+1} - x_i)$$

Per utilizzare questa formula occorre tenere conto di altre 2 equazioni:

- $q = \mu(h-C) * (2g(h-C))^{1/2}$ dove $\mu=0,4$ e $C=0,44$ m = altezza di sfioro
- $Q = A * (2g(E-h))^{1/2}$

Ricordando che la sezione di deflusso è $A=Bh$ e dividendo Δh ad esempio in n°8 "segmenti" si ottiene la seguente tabella:

x (m)	h (m)	Q (mc/s)
0,000	0,440	0,722

0,360	0,430	0,796
0,680	0,420	0,864
0,960	0,410	0,939
1,220	0,400	1,011
1,450	0,390	1,098
1,680	0,380	1,187
1,880	0,370	1,276

Da cui risulta che il valore dell'altezza di monte ($h_{\text{monte}} = 0,37 \text{ m}$) si trova ad un'ascissa X di 1,88 metri dalla fine dello sfioratore (ascissa X=0)

Pertanto tale sarà la lunghezza di calcolo dello sfioratore stesso:

L=1,88 m

9.3 Dimensionamento trincea drenante

Come illustrato ai paragrafi precedenti, le portate di piena in arrivo alla sezione di chiusura iniziano a sfiorare nel momento in cui il tirante idrico supera $h_0 = 44 \text{ cm}$ (a cui corrisponde una portata di circa $Q = 730 \text{ l/s}$).

Le portate inferiori o uguali a 730 l/s continueranno invece a defluire nell'esistente tombinatura in cls $\varnothing = 1000 \text{ mm}$.

Ciò significa che le portate eccedenti $Q = 730 \text{ l/s}$ vengono dapprima conferite in una vasca di calma in cls ($B \times L = 1,00 \times 1,90 \text{ m}$) e quindi in un manufatto disperdente costituito da uno scavo riempito di ghiaia lavata di media pezzatura (porosità ghiaia pari al $30 \div 35\%$)

Il dimensionamento di tutti i sistemi di infiltrazione (trincee drenanti, pozzi perdenti, etc..) va eseguito confrontando le portate in arrivo al sistema con la capacità d'infiltrazione del terreno e con l'eventuale volume immagazzinato nel sistema (equazione di continuità):

$$(Q_p - Q_f) \Delta t = \Delta W$$

dove:

Q_p = portata influente (mc/s)

Q_f = portata infiltrata (mc/s)

Δt = intervallo di tempo (ore)

ΔW = variazione del volume invasato (mc)

La capacità d'infiltrazione è stata stimata con la legge di Darcy:

$$Q_f = \psi * J * A$$

dove:

Q_f = portata infiltrata (mc/s)

Ψ = permeabilità del terreno (m/s)

J = cadente piezometrica (m/m)

A = superficie netta d'infiltrazione (mq)

Per calcolare la variazione di volume invasato ΔW è stata eseguita una procedura iterativa che consiste nei seguenti passi:

- 1) Si fissa una durata di precipitazione t_p (ad esempio 5 minuti) e si calcola, dalla curva di probabilità pluviometrica, la conseguente intensità di pioggia $i(t_p)$ ipotizzando che sia costante nel tempo.
- 2) Si calcola l'idrogramma di piena corrispondente alla precipitazione di durata t_p e di intensità $i(t_p)$; l'idrogramma è calcolato assumendo il modello dell'invaso lineare esplicitato dalle seguenti espressioni:

$$a) \quad q = \varphi i S \left(1 - e^{-t/K}\right) \quad \text{per } t \leq t_p \quad (3)$$

$$b) \quad q = Q_m e^{-\frac{t-t_p}{K}} \quad \text{per } t > t_p \quad (4)$$

essendo Q_m la portata massima ricavata dalla (3) imponendo $t = t_p$

- 3) Si calcola il volume W della parte di idrogramma che eccede il valore di portata che continuerà a defluire nella tombinatura (730 l/s) e il valore di portata infiltrata Q_f e che si ipotizza di scaricare nel terreno finché il sistema non è completamente vuoto.
- 4) Si incrementa la durata di precipitazione t_p e si ritorna al punto 2) fin tanto che il volume W non diminuisce.

Tale dimensionamento è stato sviluppato adottando la curva di possibilità pluviometrica avente tempo di ritorno $T=5$ anni (vedi Tabella Arpa in allegato); in via cautelativa è stato comunque adottato il coefficiente di afflusso ricavato con tempo di ritorno $T=100$ anni (vedi par. 6.2).

Per aree aventi le caratteristiche idrogeologiche di cui sopra, gli eventi meteorici critici, in termini di smaltimento delle portate, sono quelli caratterizzati da una elevata intensità (mm/h) e una breve durata dell'evento di pioggia.

Dalla procedura di calcolo sopra descritta infatti si è ricavato quanto segue:

1. il sistema di subdispersione in progetto necessita di una capacità d'invaso pari a $V=422$ mc d'invaso, al verificarsi di una durata critica di pioggia pari a $T_c=21$ min (cfr. tabella di calcolo n°4, in allegato).

Si prevede di realizzare in fregio a via Santa Maria – lato nord una trincea drenante costituita da uno scavo (lunghezza complessiva $L=136$ m, larghezza media $B=3,00$ m e altezza utile $H=3,00$ m) riempito di ghiaia lavata

di media pezzatura avente una porosità media del 30÷35% e avvolta in idoneo tessuto non tessuto per garantirne il corretto funzionamento nel medio-lungo periodo.

Tale opera, attraversata per tutto il suo sviluppo da n°2 condotte forate in PVC SN4 DN400, garantisce un accumulo complessivo $W=428 \text{ mc} > 422 \text{ mc}$.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

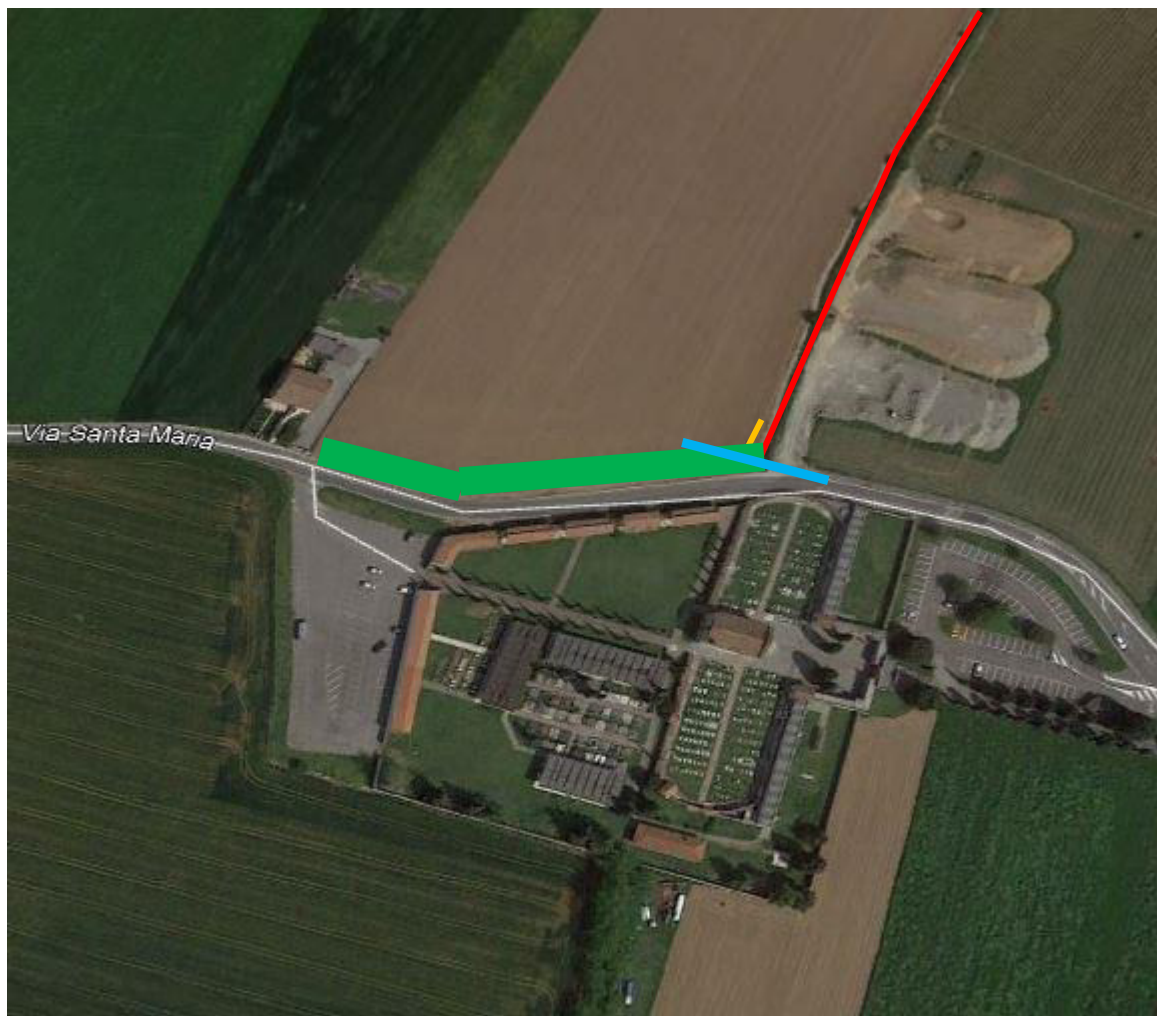


Fig.10 - rappresentazione schematica intervento di mitigazione del rischio idraulico:

- roggia (tratto rosso)
- sezione di chiusura considerata (tratto azzurro)
 - soglia sfiorante (tratto arancione)
 - trincea drenante (tratto verde)

10 CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati idrologici idraulici di cui alla presente trattazione e di seguito riportati:

- portata centennale della roggia in esame alla sezione di chiusura $Q_{100}=1,30$ mc/sec
- capacità di trasporto della roggia a completo riempimento $Q_p=3,67$ mc/sec
- capacità di trasporto della tombinatura a completo riempimento (100%) $Q_p=0,858$ mc/sec
- capacità di trasporto della tombinatura ai fini progettuali (70%): $Q_p=0,739$ mc/sec

si ritiene necessario prevedere interventi di mitigazione del rischio idraulico in corrispondenza della sezione d'imbocco della tombinatura esistente (a monte dell'area cimiteriale).

Nello specifico si è optato di realizzare un manufatto in cls (soglia sfiorante e vasca di calma) che intercetti le portate di piena della roggia in esame eccedenti $Q=0,730$ mc/sec per poi conferirle in un sistema disperdente (trincea drenante) avente volume utile di almeno $V=428$ mc.

Pavia, 08.08.2019

Ing. Michelangelo Aliverti
Ordine Ingegneri di Pavia:n°2684



Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Cologne (BS)*

Coordinate: *X: 572639.01 Y: 5048338.14*

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) **100**

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 28,91

N - Coefficiente di scala 0,2841

GEV - parametro alpha 0,289

GEV - parametro kappa -0,0151

GEV - parametro epsilon 0,82880002

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] **1**

Precipitazione cumulata [mm] **63,8**

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

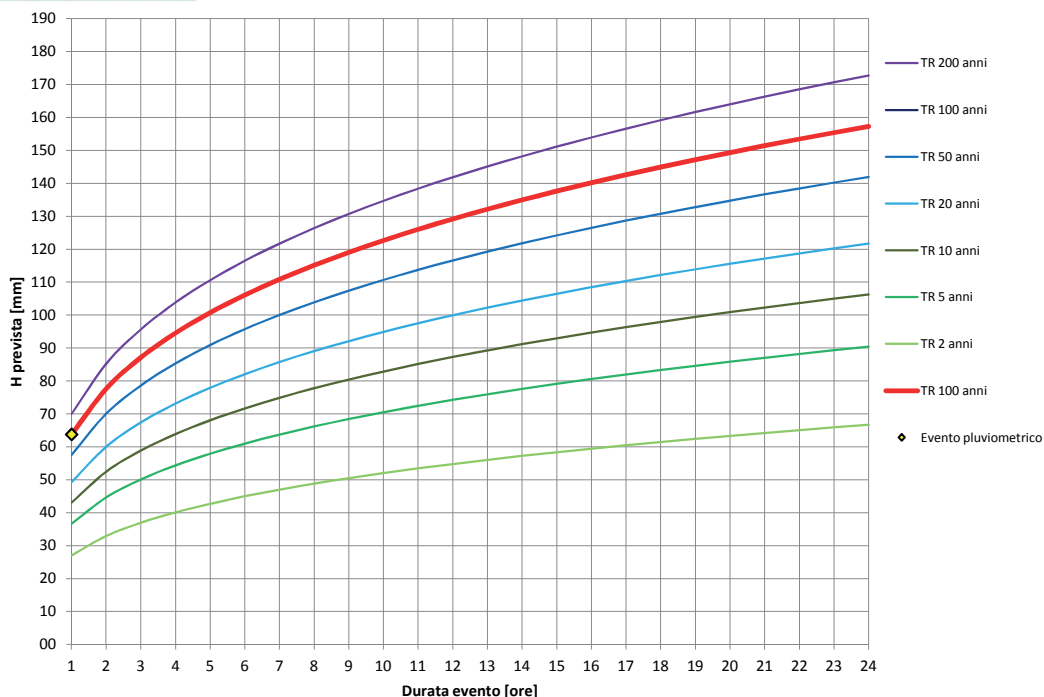
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspg.pdf>

http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	100
wT	0,93502	1,26723	1,49033	1,70673	1,99034	2,20550	2,42215	2,20550413
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 100 anni
1	27,0	36,6	43,1	49,3	57,5	63,8	70,0	63,7611243
2	32,9	44,6	52,5	60,1	70,1	77,6	85,3	77,6387595
3	36,9	50,1	58,9	67,4	78,6	87,1	95,7	87,1176425
4	40,1	54,3	63,9	73,2	85,3	94,5	103,8	94,5368679
5	42,7	57,9	68,1	77,9	90,9	100,7	110,6	100,724088
6	45,0	61,0	71,7	82,1	95,7	106,1	116,5	106,078834
7	47,0	63,7	74,9	85,8	100,0	110,8	121,7	110,8277
8	48,8	66,1	77,8	89,1	103,9	115,1	126,4	115,112857
9	50,5	68,4	80,4	92,1	107,4	119,0	130,7	119,029953
10	52,0	70,5	82,9	94,9	110,7	122,6	134,7	122,646728
11	53,4	72,4	85,2	97,5	113,7	126,0	138,4	126,01308
12	54,8	74,2	87,3	100,0	116,6	129,2	141,9	129,166936
13	56,0	75,9	89,3	102,3	119,2	132,1	145,1	132,137861
14	57,2	77,5	91,2	104,4	121,8	134,9	148,2	134,949395
15	58,3	79,1	93,0	106,5	124,2	137,6	151,1	137,620615
16	59,4	80,5	94,7	108,5	126,5	140,2	153,9	140,167218
17	60,5	81,9	96,4	110,4	128,7	142,6	156,6	142,602292
18	61,4	83,3	97,9	112,2	130,8	144,9	159,2	144,936872
19	62,4	84,6	99,5	113,9	132,8	147,2	161,6	147,180361
20	63,3	85,8	100,9	115,6	134,8	149,3	164,0	149,340839
21	64,2	87,0	102,3	117,2	136,7	151,4	166,3	151,425309
22	65,1	88,2	103,7	118,7	138,5	153,4	168,5	153,439988
23	65,9	89,3	105,0	120,2	140,2	155,4	170,7	155,38992
24	66,7	90,4	106,3	121,7	141,9	157,3	172,7	157,280174

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



COLOGNE mondini spa_studio idraulico

TABELLA n°1_scala di deflusso alveo naturale

canale naturale a sezione trapezoidale							
SCALA DI DEFLUSSO							
Qc (m³/s)	0,369	0,722	0,908	1,303	1,682	2,162	3,657
Qc (l/s)	368,728	721,948	907,629	1303,220	1681,712	2162,398	3657,211
h ₀ (m)	0,300	0,440	0,500	0,610	0,700	0,800	1,050
K	25	25	25	25	25	25	25
i (m/m)	0,00500	0,00500	0,00500	0,00500	0,00500	0,00500	0,00500
b (m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
angolo scarpa 1 (rad)	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698
angolo scarpa 1 (gradi)	40	40	40	40	40	40	40
angolo scarpa 2 (rad)	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698	0,698
angolo scarpa 2 (gradi)	40	40	40	40	40	40	40
L1 scarpa (m)	0,47	0,68	0,78	0,95	1,09	1,24	1,63
L2 scarpa (m)	0,47	0,68	0,78	0,95	1,09	1,24	1,63
B (h ₀) (m)	2,22	2,55	2,69	2,95	3,17	3,41	4,00
Σ (mq)	0,56	0,89	1,05	1,36	1,63	1,96	2,89
C (m)	2,43	2,87	3,06	3,40	3,68	3,99	4,77
R (m)	0,23	0,31	0,34	0,40	0,44	0,49	0,61

COLOGNE mondini spa_studio idraulico						
TABELLA n°2_compatibilità idraulica tombinatura						
Tombinatura esistente						
DIMENSIONAMENTO TUBI						
Diametro interno	Grado di riempimento h/d	A/r2	R/r	V/Vr	Q/QR	
D ≤ 400 mm	0,500	1,571	0,500	1,000	0,500	
400 mm< D ≤ 600 mm	0,600	1,968	0,555	1,072	0,672	
D> 600 mm	0,700	2,349	0,593	1,119	0,837	
k	40					

									Sezioni commerciali		
	Q100 [l/s]	i [m/m]	k	A/r2	R/r	Grado di riempimento ammissibile	r [m]	diametro di calcolo [mm]	diametro interno [mm]	diametro esterno [mm]	Percentuale di riempimento
I verifica tratto tombinato	1300,000	0,005	40	3,140	0,480	1,000	0,584441	1.169	1.000	1.200	117

									Sezioni commerciali		
	Q [l/s]	i [m/m]	k	A/r2	R/r	Grado di riempimento ammissibile	r [m]	diametro di calcolo [mm]	diametro interno [mm]	diametro esterno [mm]	Percentuale di riempimento
II verifica tratto tombinato	858,000	0,005	40	3,140	0,480	1,000	0,500114	1.000	1.000	1.200	100

									Sezioni commerciali		
	Q [l/s]	i [m/m]	k	A/r2	R/r	Grado di riempimento ammissibile	r [m]	diametro di calcolo [mm]	diametro interno [mm]	diametro esterno [mm]	Percentuale di riempimento
III verifica tratto tombinato	739,000	0,005	40	2,349	0,593	0,700	0,500112	1.000	1.000	1.200	70

COLOGNE mondini spa_studio idraulico

TABELLA n°3_soglia sfiorante

Energia di valle Ev (m)	
h0 (m)	0,440
B (h0) (m)	2,549
b (m)	1,500
B medio (m)	2,024
Ev (m)	0,449

Altezza di corrente critica K (m)	
Q (mc/s)	1,300
B medio (m)	2,561
K (m)	0,297

Energia critica Ec (m)	
Ec (m)	0,446

Lunghezza soglia sfiorante L (m)		
x	h	Q
0,000	0,440	0,722
0,360	0,430	0,796
0,680	0,420	0,864
0,960	0,410	0,939
1,220	0,400	1,011
1,450	0,390	1,098
1,680	0,380	1,187
1,880	0,370	1,276

COLOGNE mondini spa - studio idraulico

TABELLA n°4_trincea drenante - intervento di mitigazione idraulica

(Q _p - Q _f)*Δt = ΔW	
H utile scavo (m)	3,00
L scavo (m)	137
B scavo (m)	3,000
porosità ghiaia (%)	35,000
Wutile (mc)	431,550

tipo di suolo	permeabilità Ψ (m/s)
ciottoli ghiaia	10^-1
sabbia e ghiaia	10^-3
sabbia fine con limo	10^-5
limo argilla	10^-7

Trincea drenante TD1	permeabilità Ψ (m/s)	Cadente J (m/m)	A infiltrazione (m ²)	Q _f (m ³ /s)	Δt (min)	intensità (mm/h)	Q _p (l/s)	Q _p (mc/s)	ΔW<Wutile (m ³)
	0,00000	1,00	1233,0	0,002466	21	98,84	1721,79	1,721790	422,25

Idrogrammi di piena	Tp (min)	i (mm/h)	Tcritica (min)	ΔW (mc)
	15	98,84	21	422,25
	30	60,17	35	251,21
	60	36,64	64	-582,08
	120	22,30	123	-2640,50