

# COMUNE DI NAPOLI

DIPARTIMENTO AUTONOMO AMBIENTE  
SERVIZIO P.R.M.  
FOGNATURE E IMPIANTI IDRICI

## ADEGUAMENTO STATICO FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA SANT' ANTONIO LOTTO B e C

### PROGETTO DEFINITIVO

COMUNE di NAPOLI

Progettazione: Servizio Fognature

Ing. Roberta Catapano

Ing. Stefano Napolitano

Geom. Carlo Scognamiglio

Geom. Luigi Imparato

Geom. Carmine Luca Scognamiglio

Comitato Tecnico

(istituito con disposizione del D.G. n. 3 del 25.1.2012)

Progetto n. 5 Elaborati n. 24(3)

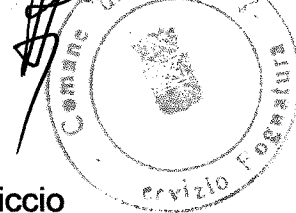
Verificato con esito positivo

Verbale 13 del 19/6/2012

p. Il Comitato

La Segreteria Tecnica

dal Basquale Sorrentino



IL DIRIGENTE

Ing. Serena Riccio

Titolo:

Relazione Tecnica di Calcolo Idraulico

EMISSIONE: Aprile 2012

REVISIONE A:

REVISIONE B:

REVISIONE C:

TAVOLA:

R-02

**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. COLLETTORE ESISTENTE PROBLEMATICHE NEL TRATTO PONTE VIA EPOMEIO – PRU VIALE TRAIANO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTERVENTO DI PROGETTO .....</b>	<b>3</b>
<b>4. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI CALCOLO .....</b>	<b>3</b>
<b>BACINI DI CALCOLO .....</b>	<b>3</b>
<b>LEGGE DI PIOGGIA.....</b>	<b>4</b>
<b>MODELLO DI TRASFORMAZIONE DI AFFLUSSI IN DEFLUSSI .....</b>	<b>5</b>
<b>5. VERIFICA DEL COLLETTORE ESISTENTE.....</b>	<b>8</b>
<b>6. SITUAZIONE DI PROGETTO.....</b>	<b>9</b>
<b>Condizioni a monte.....</b>	<b>9</b>
<b>Condizioni a valle .....</b>	<b>10</b>
<b>7. PROGETTO TRATTO NUOVO .....</b>	<b>10</b>
<b>Scelta del tracciato.....</b>	<b>10</b>
<b>Scelta del materiale e della forma dello speco.....</b>	<b>10</b>
<b>Dimensionamento .....</b>	<b>10</b>
<b>Verifica in corrispondenza delle curve.....</b>	<b>11</b>
<b>Dimensionamento salto a monte .....</b>	<b>13</b>
<b>8. ADEGUAMENTO TRATTO ESISTENTE .....</b>	<b>17</b>
<b>Verifica del salto a monte.....</b>	<b>18</b>
<b>9. INDICAZIONI PER IL PROGETTO ESECUTIVO .....</b>	<b>20</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione descrive le metodologie di calcolo impiegate e i risultati ottenuti per la verifica e il dimensionamento del collettore Arena S. Antonio nel tratto compreso tra il ponte della circumflegrea all'altezza di Via Ben Hur e Viale Traiano, con innesto del nuovo collettore nel PRU di Soccavo.

## **2. COLLETTORE ESISTENTE PROBLEMATICHE NEL TRATTO PONTE VIA EPOMEO – PRU VIALE TRAIANO**

I rilievi eseguiti hanno evidenziato che, a partire dal ponte di Via Epomeo, dove la sezione idraulica ha dimensioni correnti di 4.40x2.50m le dimensioni trasversali della sezione tendono a variare.

Nel tratto iniziale la larghezza si mantiene costantemente pari a 4.0 m, mentre l'altezza varia da 3.30m a 1.95m; la pendenza è di circa lo 0.97%. In tale zona la soletta del collettore rappresenta il piano di calpestio della Via Ben Hur.

In corrispondenza del ponte della circumflegrea l'altezza del manufatto fognario aumenta e l'attraversamento della linea ferroviaria si origina da un primo salto di circa 50.0cm, cui segue un secondo salto di circa 1.60m.

A valle del ponte il collettore attraversa l'area destinata alla realizzazione del PRU di Soccavo, orograficamente più alta (profondità scorrimento circa 8,00 m), la cui originaria sezione in muratura è stata a tratti inserita una tubazione in lamiera ondulata per la maggior parte del tracciato non rivestita e a tratti divelta. La pendenza del collettore si attesta all'incirca sullo 0,8%.

In corrispondenza della futura area mercatale in adiacenza a Viale Traiano e fino all'intersezione con tale strada il collettore si presenta rivestito e la sezione si riduce ulteriormente sino a raggiungere una altezza di 2.80m e una larghezza di 2.85 m in tale tratto si a una pendenza di circa lo 0,3%.

A valle del Viale Traiano è presente uno scivolo di fondo e il collettore prosegue per attraversare la tangenziale secondo un tracciato che presenta curve a 90°. La pendenza del collettore varia tra lo 0.8% e lo 0.5%.

Le anomale variazioni delle caratteristiche geometriche del collettore, unitamente alle brusche variazioni planimetriche determinano una linea di rigurgito che nella zona di Via Ben Hur supera il livello stradale di circa 3.0 m, sovrappressione che oltre a determinare l'allagamento dell'area per effetto delle caditoie e il rigurgito delle immissioni, comporta il collasso strutturale atteso il precario stato delle strutture.

Questo è quanto occorso nell'ultimo nubifragio del 21.06.2009 per effetto del quale si è verificato l'innalzamento della soletta di copertura e il parziale collasso strutturale del tratto di collettore compreso tra il ponte di Via dell' Epomeo e Via Ben Hur. Tali accadimenti sono da imputare alla insufficienza del tratto di valle del collettore in quanto su di esso sono stati effettuati interventi localizzati di blindatura senza adeguamento della sezione con conseguente spostamento delle criticità via via più a monte.

Orbene, l'adeguamento del tratto di collettore compreso tra Via dell' Epomeo e Via Ben Hur è oggetto di una precedente progettazione che prevede l'allargamento della sezione idraulica esistente fino a 6.0 m e l'innalzamento del

tratto ribassato sino ad un'altezza utile di 2.10m, tali opere sono state oggetto di appalto integrato, definitivamente aggiudicato. L'intervento sul tratto di collettore compreso tra il ponte della circumflegrea e Viale Traiano è oggetto della presente progettazione.

### **3. INTERVENTO DI PROGETTO**

L'intervento proposto prevede l'abolizione del tratto di collettore esistente compreso tra il ponte della circumflegrea e l'area mercatale del PRU di Soccavo adiacente il Viale Traiano e l'adeguamento del tratto che attraversa la suddetta area mercatale.

La realizzazione del nuovo tratto di collettore, compreso tra il picchetto S1 e il picchetto S45 si rende necessaria in virtù delle seguenti problematiche.

Il tracciato attuale comporta il passaggio del collettore al di sotto dei fabbricati esistenti e di quelli previsti nel PRU, di conseguenza un eventuale dissesto del collettore comporterebbe danni strutturali agli edifici.

Il tratto di collettore in oggetto presenta uno speco insufficiente al deflusso delle portate in gioco, inoltre gli interventi di blindaggio localizzato effettuati in passato sono origine di criticità che si manifestano con rigurgito del livello idrico a monte.

Infine, da un punto di vista statico, il collettore risulta notevolmente danneggiato atteso il periodico funzionamento in pressione e le velocità di deflusso che si sviluppano e che hanno inevitabilmente comportato l'usura del calcestruzzo di cui è costituito il manufatto.

Le problematiche sin qui descritte sono già state analizzate nell'ambito del Piano di Riqualificazione Urbana di Soccavo ed in linea con esso si sono individuate le soluzioni progettuali più idonee secondo quanto di seguito descritto.

### **4. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI CALCOLO**

Per la definizione delle portate transitanti nel collettore si è fatto riferimento alla metodologia impiegata dal CUGRI per la verifica della rete fognaria della città di Napoli.

### **BACINI DI CALCOLO**

Sono stati ridefiniti i bacini colanti sulla scorta anche degli interventi realizzati e in corso di realizzazione sull'area di pertinenza del collettore.

In particolare il bacino del collettore Arena S. Antonio è idealmente suddiviso in due sottobacini il cui elemento di separazione è rappresentato dal derivatore tipo Baffled esistente nella zona a monte dello stadio San Paolo, di recente ultimazione, per effetto del quale si attua in tale sezione un sostanziale taglio delle portate provenienti dal bacino alto che vengono scaricate nel collettore di Via Cinthia e, per esso, nell'emissario di Bagnoli.

Ne consegue che il bacino basso risulta oggi sensibilmente ridotto e lo sarà ancor di più quando verranno completati gli interventi su Pianura (collettore di

Via Padula di prossimo appalto) per i quali il bacino afferente alla collettrice di Pianura sarà decurtato del contributo proveniente da Via Padula.

Per quanto riguarda il tratto di interesse, la sezione di chiusura del bacino di riferimento è quella posta a monte dell'immissione in sinistra idraulica della pluviale di Viale Traiano.

Tale bacino, per effetto degli interventi operati nell'ambito delle opere denominate "Camaloli II Lotto", nonché del completamento della dorsale Nord Sud risulta caratterizzato da una superficie di circa **636 Ha**, dei quali circa il 50% non edificati o scarsamente abitati. Ai fini del calcolo si è assunto un coefficiente di afflusso pari a 0,65.

### LEGGE DI PIOGGIA

La determinazione delle portate pluviali, afferenti i collettori di interesse è stata effettuata sulla scorta della curva di probabilità pluviometrica adoperata per la città di Napoli.

Tale legge è espressa da una relazione a tre componenti così definita:

$$I_{[t,T]} = K_r \frac{m[I_0] \cdot t}{\left(1 + \frac{t}{d_c}\right)^\beta}$$

dove:

d = durata evento meteorico (ore)

m[I<sub>0</sub>] = medio del massimo annuale riferita alla sottozona omogenea considerata (mm/h)

z = quota media del bacino (m)

d<sub>c</sub> = durata critica (ore)

C, D = parametri di regressione lineare

Per la stima dei parametri statistici della legge si è fatto riferimento ai valori riportati nella pubblicazione "Il sistema fognario della città di Napoli alle soglie del 2000", ricavati dalle elaborazioni dei dati registrati dal pluviografo di Napoli - Fuorigrotta:

<b>m(I<sub>0</sub>)</b>	<b>dc</b>	<b>β</b>
180, 2	0.1 28	0.826

Inserendo i valori su indicati si ottiene l'espressione:

$$T = K_T \frac{1.80}{\left(1 + \frac{t}{0.28}\right)^{0.82}}$$

Il parametro  $K_T$  rappresenta il fattore di crescita e il suo valore è fornito dalla funzione di distribuzione di probabilità cumulata  $F(k)$  del modello T.C.E.V.

$$T = 1/(1-F(k)) = 1/(1 - \exp(-\Lambda_1 x e^{-(\eta x k)} - \Lambda_1 x \Lambda_1^{(1/\theta^*)} x e^{-(\eta x k / \theta^*)}))$$

con:

$\theta^*$	$\Lambda_*$	$\Lambda_1$	$\eta$
2.53	0.22	37	4.909
6	4		

Nell'espressione precedente  $T$  rappresenta il periodo di ritorno ossia il numero medio di anni che bisogna attendere perché l'evento ad esso riferito si verifichi almeno una volta e risulta, pertanto, legato al rischio di insufficienza.

Per i sistemi fognari urbani generalmente il dimensionamento viene svolto per valori del tempo di ritorno inferiori alla vita utile dell'opera, pertanto sussiste la certezza che in qualche occasione l'opera risulti insufficiente. D'altronde per evitare ciò sarebbe necessario incrementare, e non di poco, il valore di  $T$  di progetto e, conseguentemente, le dimensioni e il costo delle opere.

Nel caso specifico per la verifica delle opere esistenti e di quelle di progetto è stato considerato un periodo di ritorno massimo pari a 30 anni.

Per il suddetto periodo di ritorno il valore di  $K_T$  fornito dall'espressione precedente è :  $K_{30} = 1.8$

### **MODELLO DI TRASFORMAZIONE DI AFFLUSSI IN DEFLUSSI**

Per la determinazione delle massime portate pluviali è stato applicato il metodo *dell'invaso lineare* che rappresenta un modello concettuale di trasformazione afflussi - deflussi, diffusamente utilizzato nella pratica tecnica.

Secondo tale metodo il legame esistente tra la portata  $Q(t)$ , defluente in una assegnata sezione ed il volume d'acqua  $W(t)$  che si deve immagazzinare sulla superficie  $A$  del bacino sotteso dalla rete fognaria a monte, affinché attraverso la stessa sezione possa defluire la portata  $Q(t)$ , è un legame lineare espresso dalla relazione:

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

Con K costante di invaso lineare, avente le dimensioni di un tempo.

L'applicazione del modello adottata è quella del *metodo italiano* per il quale l'espressione di K è fornita dal rapporto tra il volume totale invasato nella rete fognaria e sulla relativa superficie drenata in concomitanza con il deflusso della portata Q(t) e la portata stessa. In tal modo il metodo risulta di agevole utilizzo per la progettazione di una rete di collettori o per la verifica della rete allorquando siano note tutte le caratteristiche dei collettori a monte della sezione d'esame.

La costante di invaso K può essere espressa in funzione delle caratteristiche morfologiche del bacino drenato e della rete fognaria afferente. Per la progettazione della rete in oggetto la stima della costante di invaso è stata effettuata utilizzando la relazione proposta da Desbordes:

$$K = \frac{41.90}{I_m^{0.15} I_m^{0.88} A} \quad (\text{min})$$

Dove:

A è la superficie del bacino in ettari;

$i_m$  è la pendenza media del collettore principale (m/m);

$I_m$  è la percentuale di area edificata.

L'espressione su scritta vale nell'ambito di bacini caratterizzati da una pendenza compresa tra 0.004 e 0.047.

Inoltre è opportuno sottolineare che tale espressione è stata tarata su bacini urbani reali strumentati con dispositivi di misura delle piogge e delle portate.

Conseguentemente la metodologia di calcolo trova ordinaria ed indiscutibile applicazione in contesti omogenei.

L'idrogramma di piena è dato dall'integrale, rispetto al tempo t, dell'equazione del serbatoio lineare e l'equazione di continuità:

$$I(t)d(t) = dW(T) + Q(T)dt$$

Con:

I(t) afflusso netto sul bacino (mc/s);

W (t) volume immagazzinato a monte (mc);

Q portata in uscita dalla sezione (mc/s).

Introducendo l'ipotesi di afflusso netto I (t) costante e pari a ( $\varphi * i(t) * A$ ) si ha, al termine dell'afflusso ( $t_p$ ), la portata al colmo pari a:

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO  
TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIA TRAIANO**

$$Q_m = \varphi \cdot i(t_p) S (1 - e^{-t_p/K})$$

Dove:

$\varphi$  è il coefficiente di afflusso;

$i(t_p)$  è l'intensità di pioggia corrispondente alla durata della pioggia  $t_p$ .

Il massimo valore della portata è quello relativo alla durata critica  $t_c$ , che si ottiene eguagliando a zero la derivata della espressione precedente rispetto a  $t_p$ .

Il valore  $t_c$  si ottiene risolvendo per tentativi, rispetto ad  $r$ , la seguente espressione:

$$m = (c/K + r) e^{-r} / (1 - e^{-r})$$

Dove:

$m$  è l'esponente del denominatore della espressione della curva di probabilità pluviometrica a tre parametri;

$c$  è la durata critica dell'evento meteorico

$K$  è la costante di invaso;

$r$  è il rapporto tra durata dell'afflusso  $t_p$  e  $K$

Pertanto, la portata al colmo di piena è data dall'espressione:

$$Q = \varphi \cdot i \cdot A \cdot (1 - e^{-r})$$

Sulla base della metodologia illustrata sono state determinate le portate al colmo di piena relative alle sezioni di calcolo individuate nello schema allegato al progetto.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella **tabella 1** in cui sono indicate le portate riferite a periodi di ritorno tra 5 e 50 anni.

Collettore	Denominazione		Area del tratto (ha)	Area totale del bacino (ha)	Coefficiente di Afflusso $\varphi$ aree edificate	$Q_5$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{20}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{30}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{50}$ (m <sup>3</sup> /s)
	da	a								
ARENA S. ANTONIO	1	51	636	636	0,66	42	50	59	65	73

*Tabella 1*



### **5. VERIFICA DEL COLLETTORE ESISTENTE**

Per la verifica è stata adottata la formula di Gauckler e Strickler.

Questa si esprime come segue:

$$V = K \times R^{(2/3)} \times i^{(1/2)}$$

che combinata opportunamente con quella di continuità:

$$Q = V \times \sigma$$

fornisce:

$$Q = K \times \sigma \times R^{(2/3)} \times i^{(1/2)}$$

I simboli indicano le seguenti grandezze:

V (m/s),	la velocità in moto uniforme;
K' (m <sup>(1/3)</sup> /s),	il coefficiente di scabrezza secondo Gaukler-Strickler;
R (m)	il raggio idraulico espresso come rapporto tra la sezione idrica e il contorno bagnato;
i,	la pendenza del collettore;
Q (mc/s),	la portata;
σ (mq),	la sezione idrica.

La formula consente, nota la geometria della sezione idrica, di determinare le caratteristiche idrauliche della corrente che si instaurano al passaggio delle varie portate.

Per quanto concerne il valore del coefficiente di scabrezza K', questo dipende dalla natura delle pareti che costituiscono lo speco.

Per valori elevati di tale coefficiente si tende a pareti sostanzialmente lisce.

Dall'esame dei risultati ottenuti, indicati nella tabella successiva, si evince come nelle attuali condizioni l'insufficienza idraulica del tratto in oggetto si manifesta, in condizioni di stato critico, per valori di portata inferiori a quelli relativi ad un periodo di ritorno di 5 anni.

È indubbio dunque che si renda necessaria uno speco di dimensioni maggiori.

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO  
TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIA TRAIANO**

	sezarmco 3500 mm	hu	hc	wu	Fr
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	-
Q <sub>5</sub>	42	2,71	2,73	5,26	1,02
Q <sub>10</sub>	50	-	-	-	-
Q <sub>20</sub>	59	-	-	-	-
Q <sub>30</sub>	65	-	-	-	-

	sez 4x1,95 m	hu	hc	wu	Fr
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m/s)	-
Q <sub>5</sub>	42	1,61	1,95	6,52	1,64
Q <sub>10</sub>	50	1,83	1,95	6,95	1,64
Q <sub>20</sub>	59	-	-	-	-

*Tabella 2*

## **6. SITUAZIONE DI PROGETTO**

Una adeguata progettazione non può prescindere dall'esame delle condizioni a monte e valle del tratto di intervento.

### **Condizioni a monte**

Le caratteristiche geometriche del manufatto posto immediatamente a monte del tratto di progetto sono quelle previste nell'ambito dell'intervento di adeguamento del collettore in via Ben Hur fino al ponte Sepsa, le cui opere sono già in aggiudicazione: trattasi del manufatto di attraversamento della linea della circumflegrea, caratterizzato da uno speco scatolare in calcestruzzo armato posto in opera di larghezza pari a 6,00mt, altezza massima pari a circa 4,50mt e pendenza pari a 2,92%; tale manufatto di attraversamento si origina da un salto di fondo pari a 1,60mt.

Le caratteristiche della corrente di moto uniforme sono indicate nella tabella seguente:

hu	A	P	R	Q	v	Fr	hc
1,064	6,384	8,128	0,785433	65,00625	10,18268	3,151788	2,287246

*Tabella 3*

In realtà la presenza del salto di fondo posto circa 50.0mt a monte rispetto alla sezione di collegamento tra il tratto di Via Ben Hur e il tratto di nuova realizzazione comporta un tirante idrico maggiore rispetto a quello di moto uniforme, e dunque una minore velocità a monte. Tuttavia dato che a valle del salto di 1.60m si stabilisce una corrente veloce accelerata, a vantaggio di sicurezza, si è ipotizzato che le condizioni di monte fossero quelle testé indicate.

### Condizioni a valle

In corrispondenza dell'area mercatale del PRU di Soccavo il collettore presenta uno speco di sezione svizzera di  $D=3,70\text{m}$  con pendenza pari a  $0,28\%$ , esso si sviluppa per circa  $140\text{mt}$ .

Tale manufatto è in grado di convogliare una portata massima di circa  $43\text{ mc/s}$ .

Lo stesso prosegue con uno speco di sezione svizzera di diametro pari a  $3,70\text{ mt}$  e una pendenza pari a  $0,78\%$ . L'incremento di pendenza consente un deflusso di portata pari a  $65\text{mc/s}$  con grado di riempimento pari a circa l' $80\%$ .

Orbene, il progetto prevede la realizzazione di un nuovo tratto di collettore che si sviluppa dal ponte della Circumflegrea in corrispondenza di Via Ben Hur all'area mercatale del PRU di Soccavo, compreso tra il picchetto S0 e il picchetto S46 (cfr. tavola GR.06), e l'adeguamento del tratto di collettore che attraversa l'area mercatale, fino al picchetto S51.

Di seguito sono riportati i calcoli del dimensionamento del nuovo tratto e le verifiche per l'adeguamento del collettore sottoposto all'area mercatale.

## 7. PROGETTO TRATTO NUOVO

### Scelta del tracciato

L'andamento planimetrico del collettore di nuova realizzazione è legato principalmente alla presenza dei fabbricati esistenti e di progetto nell'ambito del PRU di Soccavo, come già in precedenza esposto; tali elementi hanno vincolato fortemente la scelta del tracciato, inducendo la realizzazione di curve e controcurve che sono state puntualmente verificate secondo quanto di seguito riportato.

Lo sviluppo planimetrico del collettore è di circa  $400\text{ml}$ .

### Scelta del materiale e della forma dello speco

Si prevede la realizzazione di un collettore con **speco in calcestruzzo armato gettato in opera di sezione rettangolare**. Tale scelta è stata fatta considerando che la portata di progetto è compatibile con sezioni di dimensioni considerevoli, realizzabili solo in opera. Invero la scelta di altre tipologie di sezioni e di materiale, quali ad esempio una sezione circolare in PRFV, avrebbe indotto problemi di trasporto e incremento notevole dei costi.

### Dimensionamento

Il dimensionamento è stato fatto assumendo come portata di calcolo la portata al colmo di piena per un periodo di ritorno pari a 30 anni:

$$Q_{30}=65\text{mc/s}$$

e valutando il tirante idrico e la velocità di moto uniforme al variare della pendenza e delle dimensioni dello speco. Si riporta di seguito la tabella di calcolo:

Q	i(%)	$\sigma(\text{mq})$	B(m)	H(m)	P(m)	R	Qcalc	hu(m)	hc(m)	v(m/s)
65	2,97	5,39	3	4,5	6,59	0,82	65,00	1,80	3,63	12,06
65	1	8,09	4	4,5	8,05	1,01	65,00	2,02	3,00	8,03
65	0,5	10,55	4	4,5	9,27	1,14	65,00	2,64	3,00	6,16
65	0,3	12,89	4	4,5	10,45	1,23	65,00	3,22	3,00	5,04
<b>65</b>	<b>0,2</b>	<b>15,18</b>	<b>4</b>	<b>4,5</b>	<b>11,59</b>	<b>1,31</b>	<b>65,00</b>	<b>3,79</b>	<b>3,00</b>	<b>4,28</b>
65	0,15	16,57	5	4,5	11,63	1,42	65,00	3,31	2,58	3,92

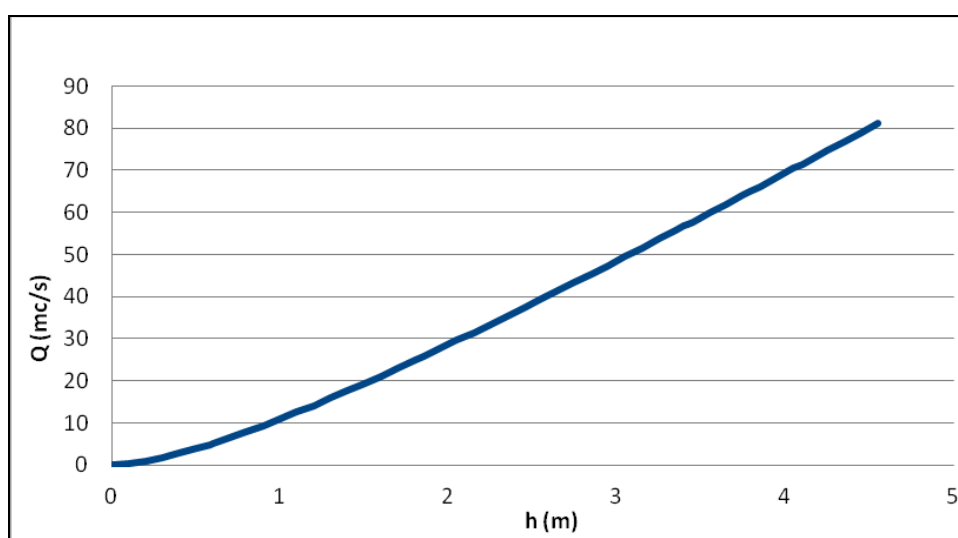
Tabella 4

I calcoli di tabella 4 sono stati effettuati applicando le formule del moto uniforme e di continuità già richiamate in precedenza con un coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler pari a  $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ : le pareti e la platea del collettore dovranno essere rivestite con malta cementizia bicomponente per finitura del calcestruzzo (del tipo Mapefinish o similare); tale scelta del rivestimento interno, necessario in virtù delle velocità attese, renderebbe ragione dell'utilizzo di un coefficiente di Gauckler-Strickler maggiore di  $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , tuttavia un valore dell'ordine di  $100 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  non sarebbe stati cautelativo rispetto alla stima del tirante idrico, attesa la tenuta del rivestimento nel tempo.

La scelta effettuata è evidenziata in grassetto nella tabella 4: appare chiaro che se da un lato occorre proteggersi rispetto a fenomeni di rigurgito legati ad insufficienza della sezione, è altrettanto vero che velocità troppo elevate non sono compatibili con il materiale di cui è costituito il collettore.

La sezione sarà di altezza pari a 4.50mt corrispondente ad un grado di riempimento pari a circa l'80%, la pendenza del tratto in oggetto sarà pari a 0,2%, valore prossimo alla pendenza del tratto di valle.

Di seguito si riporta la scala di deflusso della sezione di progetto:



**Figura 1-Scala di deflusso**

Si tenga presente che la scelta operata consente un deflusso a pelo libero anche per valori della portata al colmo di piena corrispondente ad un periodo di ritorno paria a 50 anni  $Q=75\text{mc/s}$ , cui corrisponde un tirante di moto uniforme di circa 4,30mt e quindi un grado di riempimento pari a circa il 95%.

### **Verifica in corrispondenza delle curve**

Il tracciato planimetrico del collettore presenta delle curve alquanto accentuate che inducono una inclinazione trasversale della superficie liquida con sopraelevazione in corrispondenza della parete esterna. Dal momento che l'entità di tale sopraelevazione è proporzionale all'energia trasportata dalla corrente, sono stati inseriti dei salti a monte delle curve ad una distanza

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO  
TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIA TRAIANO**

adeguata al raggiungimento di condizioni di moto prossime al moto uniforme ( $> 4hc$ ).

Una valutazione tecnicamente soddisfacente del dislivello totale  $\Delta h$  fra il punto più sopraelevato e il punto più depresso della superficie liquida può essere effettuata per sezioni rettangolari tramite al formula di Grashof:

$$\Delta h = V^2 \frac{B}{gr_m}$$

nella quale  $V$  è la velocità media della corrente,  $B$  la larghezza della superficie libera,  $g$  l'accelerazione di gravità ed  $r_m$  il raggio medio di curvatura.

La formula di Grashof è applicabile per  $r_m/B \geq 1,5$ .

Di seguito si riportano le tabelle di calcolo:

Curva S18-S21						
$r_m =$	33,64	m				
				$r_m/B =$	8,41	
$B =$	4	m				
$v =$	4,567	m/s				
$\Delta h =$	0,2528116	m				

Curva S23-S26						
$r_m =$	52,03	m				
				$r_m/B =$	13,0075	
$B =$	4	m				
$v =$	4,567	m/s				
$\Delta h =$	0,1634554	m				

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO  
TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIA TRAIANO**

Curva S32-S34						
$r_m=$	37,02	m				
				$r_m/B=$	9,255	
B=	4	m				
v=	4,567	m/s				
$\Delta h=$	0,2297294	m				

Curva S35-S37						
$r_m=$	50,41	m				
				$r_m/B=$	12,6025	
B=	4	m				
v=	4,567	m/s				
$\Delta h=$	0,1687082	m				

**Dimensionamento salto a monte**

Il manufatto a monte del tratto di progetto presenterà sezione rettangolare di dimensioni 6.0x2.10mt con pendenza del 2.92%.

In tali condizioni le caratteristiche della corrente di moto uniforme corrispondente ad una portata di 65mc/s sono le seguenti

hu	A	P	R	Q	v	Fr	hc
<b>1,064</b>	<b>6,384</b>	<b>8,128</b>	<b>0,785433</b>	<b>65,00625</b>	<b>10,18268</b>	<b>3,151788</b>	<b>2,287246</b>

Orbene, è indubbio che velocità dell'ordine di 10m/s non sono accettabili per un manufatto in calcestruzzo, per quanto rivestito, si è posto dunque il problema di poter dissipare l'energia della corrente di monte e stabilire velocità quali quelle previste nel tratto nuovo in condizioni di moto uniforme.

Si è quindi inserito un salto di fondo con soglia a valle.

Il salto in questione ha la duplice funzione di elemento di dissipazione e di sconnessione idraulica.

La dissipazione di energia che la corrente possiede avviene in parte mediante la formazione di un vortice ad asse orizzontale che si forma al di sotto del getto e che impegna tutta la sezione idrica e in parte attraverso la formazione di un risalto idraulico.

La geometria della corrente al piede di un salto in caduta libera, con successiva formazione di un risalto, può essere definita per sezione rettangolare larga, in

funzione del parametro adimensionale  $Dd$ , definito al modo seguente (Chow 1959):

$$Dd = \frac{q}{ga^3}$$

in cui  $q$  è la portata per unità di larghezza,  $g$  è l'accelerazione di gravità ( $9.81\text{m/s}^2$ ) e  $a$  è l'entità del salto.

Si ha:

$$Ld = 4.30 * Dd^{0.27} \qquad \frac{h_1}{a} = 0.54 * Dd^{0.425} \qquad \frac{h_2}{a} = 1.66 * Dd^{0.27}$$

laddove  $Ld$  è la distanza dal piede del salto in cui la corrente presenta un tirante  $h_1$ ,  $h_2$  è l'altezza coniugata di  $h_1$  nel risalito. Per quanto riguarda la lunghezza  $L$  del risalito essa può assumersi pari a 7 volte il dislivello fra i peli liberi a monte e valle dello stesso.

Nella pagina seguente si riportano le tabelle di calcolo: il salto sarà di altezza pari a 2.0mt e la soglia di fondo di 50.0cm; la lunghezza strettamente necessaria alla dissipazione è di circa 32.0mt. Nel caso specifico si è assegnata, a vantaggio di sicurezza, una lunghezza al tratto compreso tra il salto e la soglia, di 50.0m, come può evincersi dal profilo longitudinale di progetto (cfr tav. GR.08).

Orbene, dal momento che l'effetto della soglia si ridurrà nel tempo, atteso l'interrimento connesso al deflusso di portate inferiori a quella di progetto, si è verificato che il tirante a valle del risalito, considerando nullo l'effetto della soglia, fosse compatibile con il manufatto a valle.

La verifica è riportata nelle tabelle contenute nelle pagine seguenti: da esse si evince che il tirante  $h_2$  a valle del risalito è di 4.36mt laddove il manufatto di valle presenta una sezione di altezza pari a 4.5mt; peraltro la corrente che si stabilisce dopo il risalito è del tipo lenta accelerata per cui tenderà comunque al tirante di moto uniforme nel tratto di valle.

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIALE TRAIANO**

<b>Condizioni di monte</b>											
<b>caratteristiche geometriche</b>											
	sezione rettangolare			h(m)	2,1	b(m)	6	i%	<b>2,92</b>		
<b>caratteristiche idrauliche</b>											
hu(m)	A(mq)	P(m)	R(m)	Qu (mc/s)	Vu (m/s)	hr	Fr	hc(m)	H(m)		
1,06	6,38	8,13	0,79	65,01	10,18	0,51	3,15	2,29	6,35		
<b>Condizioni di valle</b>											
<b>caratteristiche geometriche</b>											
	sezione rettangolare			h(m)	4,5	b(m)	4	i%	<b>0,2</b>		
<b>caratteristiche idrauliche</b>											
hu(m)	A(mq)	P(m)	R(m)	Qu (mc/s)	Vu (m/s)	hr	Fr	hc (m)	H (m)		
3,79	15,16	11,58	1,31	64,91	4,28	0,84	0,70	2,99	4,72		
<b>Dimensionamento</b>											
	$\Delta H$	1,62	m								
				<b>salto</b>	<b>2.0</b>	m	<b>q(mc/s/m)</b>	<b>16,25</b>			
Dd	Ld	h1 (m)	h2 (m)	H1(m)	H2 (m)	$\Delta H$ (m)	<b>h soglia di valle (m)</b>	Hfin(m)	L(m)	Ltot (m)	
3,37	11,93	1,81	4,61	5,91	5,24	0,67	0,52	4,72	19,59	31,52	



**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIALE TRAIANO**

Verifica in caso di interrimento										
	$\Delta H$	1,62	m							
				<b>salto</b>	<b>1,5</b>	m	<b>q(mc/s/m)</b>	<b>16,25</b>		
Dd	Ld	h1 (m)	h2 (m)	H1(m)	H2(m)	$\Delta H(m)$	<b>h soglia di valle (m)</b>	L(m)	Ltot (m)	
	7,98	11,30	1,96	4,36	5,46	5,07	0,39	0,00	16,83	28,13

## **8. ADEGUAMENTO TRATTO ESISTENTE**

Il manufatto fognario presente al di sotto della futura area mercatale presenta uno speco di sezione svizzera di diametro 3,70mt, esso si sviluppa per circa 140,0mt, ed ha una pendenza pari a 0,28%. L'attuale sezione del collettore è il risultato di interventi di consolidamento effettuati in passato che hanno comportato una riduzione dello speco originario.

Le verifiche idrauliche condotte hanno messo in evidenza l'insufficienza della sezione legata sia alla palese riduzione dello speco tra il tratto di monte di nuova realizzazione e quello di valle, sia alla pendenza del tratto in oggetto: le attuali caratteristiche geometriche del collettore sono tali da consentire un deflusso di portata massima pari a  $Q=36,05\text{mc/s}$ .

L'iniziale soluzione progettuale prevedeva la realizzazione di un tratto di raddoppio parallelo al collettore esistente, con sfioratore laterale a monte, che recepisce le portate eccedenti.

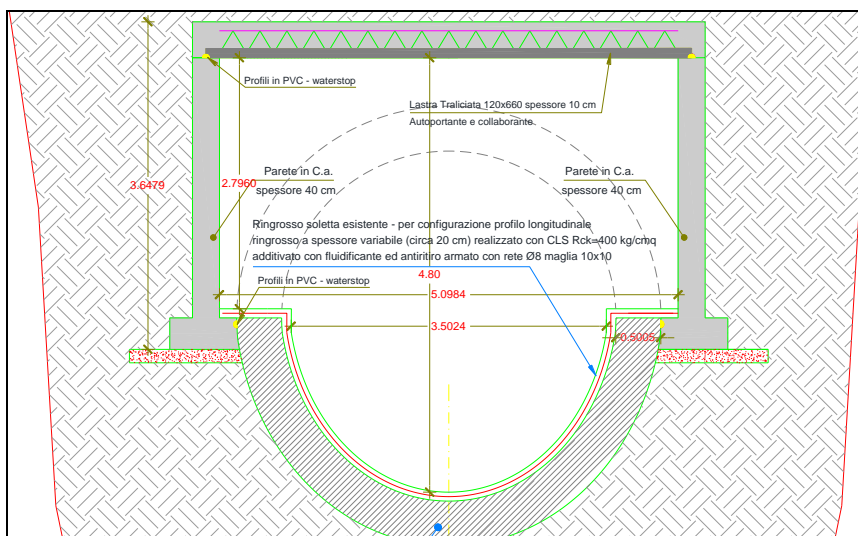
Tale soluzione comporta però le seguenti problematiche:

- l'inefficacia dello sfioro laterale dal momento che la velocità di moto uniforme del tratto di monte in condizioni di massima piena è dell'ordine dei 5m/s;
- problemi di possibile cortocircuito idraulico in quanto il recapito dei manufatti paralleli sarebbe stato il manufatto dinamico esistente di valle, ossia il collettore di sezione pari a quella del tratto raddoppiato seppur di pendenza maggiore(0,78%).

Stante quanto su esposto si è optato per la soluzione che prevede l'incremento della sezione del tratto di collettore in oggetto.

L'ampliamento previsto tiene conto delle caratteristiche costruttive del manufatto presente e della possibilità tecnica di attuare tale intervento.

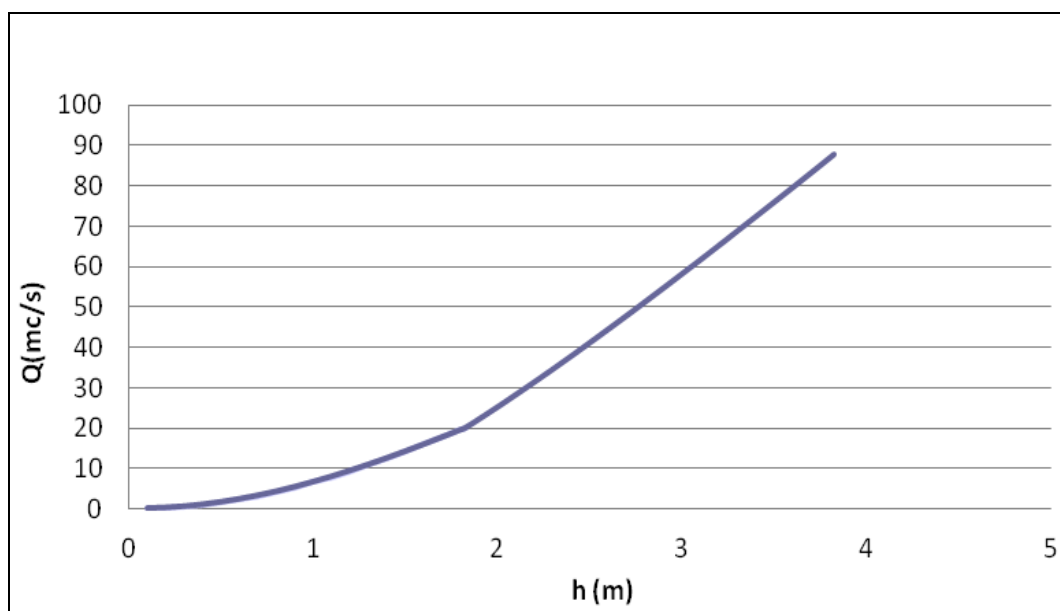
Il manufatto risultante si presenta di sezione circolare nella parte inferiore di raggio pari a 1.75mt e di sezione rettangolare nella parte superiore di altezza pari a 2.80mt e larghezza pari a 5.1mt :



**Figura 2**

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIALE TRAIANO**

Di seguito si riporta la scala di deflusso della sezione in oggetto: si evidenzia la presenza di un punto di discontinuità della funzione in corrispondenza del passaggio dalla parte circolare alla parte rettangolare della sezione, corrispondente ad un valore del tirante di circa 1.70m.



**Figura 3**

Le caratteristiche della corrente in condizioni di moto uniforme ed in corrispondenza della portata di progetto pari a 65mc/s sono le seguenti:

hu	A	P	R	Q	v	Fr	hc
1,37	12,06	8,39	1,44	65,03	5,39	1,12	2,55

Naturalmente anche per il manufatto in questione occorre prevedere un rivestimento in malta cementizia date le velocità attese, più precisamente il rivestimento dovrà essere del tipo in malta cementizia fibrorinforzata resistente ai solfati per il risanamento del calcestruzzo.

**Verifica del salto a monte**

L'adeguamento del tratto esistente origina da un salto di fondo pari ad 1.0mt, valore imposto dalla presenza del collettore esistente.

Si è proceduto dunque alla verifica delle caratteristiche della corrente a valle di tale salto nelle modalità illustrate in precedenza. Nella pagina seguente si riporta la tabella di calcolo.

Dalla tabella si evince che il tirante h2 è pari a 3,54m pertanto a valle il profilo di corrente sarà quello di una corrente lenta accelerata e il tirante idrico tenderà al tirante di moto uniforme del tratto di valle.

**ADEGUAMENTO STATICO E FUNZIONALE DEL COLLETTORE ARENA S. ANTONIO NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE DELLA CIRCUMFLEGREA E VIALE TRAIANO**

<b>Condizioni a monte</b>										
<b>caratteristiche geometriche</b>										
		sezione rettangolare								
		dimensioni		h(m)	4,5	b(m)	4	i%	<b>0,22</b>	
<b>caratteristiche idrauliche</b>										
hu(m)	A(mq)	P(m)		R(m)	Qu(mc/s)	vu (m/s)	hr	Fr	hc (m)	H (m)
3,79	15,16	11,58		1,31	64,91	4,28	0,84	0,70	2,99	4,72
<b>Condizioni a valle</b>										
<b>caratteristiche geometriche</b>										
		sezione mista circolare			i%		<b>0,28</b>			
		dimensioni		h	4,8	b	5,1			
<b>caratteristiche idrauliche</b>										
hu(m)	A(mq)	P(m)		R(m)	Qu(mc/s)	vu (m/s)	hr	Fr	hc (m)	H (m)
1,37	12,06	8,39		1,44	65,03	5,39	0,67	1,12	2,55	2,85
<b>Verifica</b>										
		$\Delta H$		1,87	m					
						<b>salto</b>	1	m	<b>q(mc/s/m)</b>	<b>12,73</b>
Dd	Ld	h1 (m)		h2(m)	H1 (m)	H2(m)	L(m)	Ltot (m)		
16,51	9,17	1,78		3,54	4,40	4,20	12,33	21,50		

## **9. INDICAZIONI PER IL PROGETTO ESECUTIVO**

Si vuole in questo paragrafo fornire alcune indicazioni per la successiva fase progettuale, che comunque non sono da ritenersi esaustive rispetto ad una corretta progettazione esecutiva.

Occorrerà approfondire gli aspetti riguardanti la protezione del collettore in corrispondenza dei salti di fondo dal momento che le velocità attese, per quanto il più possibile contenute, sono comunque velocità che potrebbero creare fenomeni erosivi del materiale costituente il collettore; inoltre occorrerà porre l'attenzione sulle modalità di connessione tra il tratto di collettore sottostante Via Ben Hur e il tratto di nuova realizzazione e tra quest'ultimo e il tratto esistente di valle.

In particolare:

- tra tratto di monte in Via Ben Hur e tratto di nuova realizzazione, a partire dal piede del salto e per tutta la lunghezza interessata dalla caduta della vena defluente (Ld), occorrerà adottare accorgimenti per evitare i fenomeni suddetti, come ad esempio l'inserimento di basoli all'interno del getto di calcestruzzo in platea; analogamente le pareti del manufatto dovranno essere opportunamente protette dai fenomeni dissipativi. Infine il piede della soglia andrà opportunamente raccordato alla platea del collettore a monte.

Simili accorgimenti dovranno prevedersi in corrispondenza del salto di fondo coincidente con il cambio speco a valle.

- in corrispondenza del pozzetto di salto e cambio speco tra tratto di nuova realizzazione e tratto esistente (pozzetto 6), si dovrà fare in modo che la platea del pozzetto sia tangente alla circonferenza della sezione di valle e allo stesso tempo le pareti del pozzetto dovranno essere sagomate in modo da invitare il flusso verso la parte circolare dello stesso.

- le due variazioni di quota del cielo fognario previste a valle dei salti potranno essere realizzate in corrispondenza di pozzetti opportunamente dimensionati.