

PROGETTO DI RESTAURO
DEL COMPLESSO MONUMENTALE
DELLA FONTANA DEL NETTUNO

Qualità delle acque

Relazione a cura di:

Prof. Maurizio Mancini

Dott.ssa Sandra Cristino

Ing. Elisa Franzoni

--

Impianto idraulico e sistema di ricircolo

Relazione a cura di:

Prof. Giovanni Naldi

Ing. Cristiana Bragalli

Bologna, 18/04/2016



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

INDICE

1. Analisi Del Sistema Idraulico Della Fontana Del Nettuno
 - 1.1 Ricostruzione del sistema idraulico originario della Fontana del Nettuno
 - 1.1.1 Osservazioni
 - 1.2 Ugelli che compongono la Fontana del Nettuno
 - 1.2.1 Classificazione
 - 1.2.2 Misura delle portate della Fontana del Nettuno
 - 1.2.3 Osservazioni
 - 1.3 Ricognizione del sistema idraulico attuale della Fontana del Nettuno

2. Linee guida per il disegno dei getti della Fontana del Nettuno
 - 2.1 Ugelli con getto secondo la sezione mediana
 - 2.2 Ugelli con getto secondo la sezione diagonale

3. Linee guida per dimensionamento del sistema idraulico di alimentazione della Fontana del Nettuno
 - 3.1 Schema impiantistico
 - 3.2 Telecontrollo e monitoraggio

4. Linee guida per la realizzazione di un nuovo impianto di condizionamento e trattamento delle acque
 - 4.1 Prime indicazioni sugli effetti incrostanti o aggressivi su condotti, materiali lapidei e manufatti metallici del monumento procurati dalle acque di ricircolo e reintegro
 - 4.1.1 Aggressività
 - 4.1.2 Corrosività
 - 4.1.3 Parametri microbiologici e disinfettante residuo
 - 4.2 Prime indicazioni progettuali per la realizzazione di un nuovo impianto di condizionamento e trattamento delle acque

Bibliografia

1. ANALISI DEL SISTEMA IDRAULICO DELLA FONTANA DEL NETTUNO

La ricostruzione storica dell'antico sistema idraulico della Fontana del Nettuno (Figura 1) è stata effettuata attraverso la consultazione delle fonti disponibili, misure di portata ed il supporto della modellazione numerica. L'importanza di tale sistema è confermata dalle notizie storiche che indicano come per un lungo periodo, il sistema idraulico delle Fontane di piazza, Fontana del Nettuno e Fontana Vecchia, risulti essere l'unica risorsa di acqua corrente potabile sulla quale la città ha potuto contare.

La ricostruzione, volta a dare coerenza all'antico sistema idraulico, si è basata su un'accurata lettura degli scritti lasciati dall'architetto e pittore Tommaso Laureti (1563), ideatore dell'intero sistema di alimentazione, e dalle tavole eseguite da Marcantonio Chiarini e Francesco Maria Angiolini (1725, 1763). La mancanza di informazioni sulla disponibilità idrica delle fonti poste sull'immediata collina che alimentavano il sistema delle Fontane di piazza, ovvero la conserva di Valverde (Bagni di Mario) e la Fonte Remonda, ha reso necessario individuare differenti scenari di possibile funzionamento, esaminandone poi la coerenza idraulica da vari punti di vista. In questa prospettiva gli strumenti a disposizione per la modellazione numerica hanno consentito di esaminare condizioni di moto a pelo libero e in pressione, con l'obiettivo di definire per le varie parti del sistema di alimentazione questo primo importante discriminante idraulico.

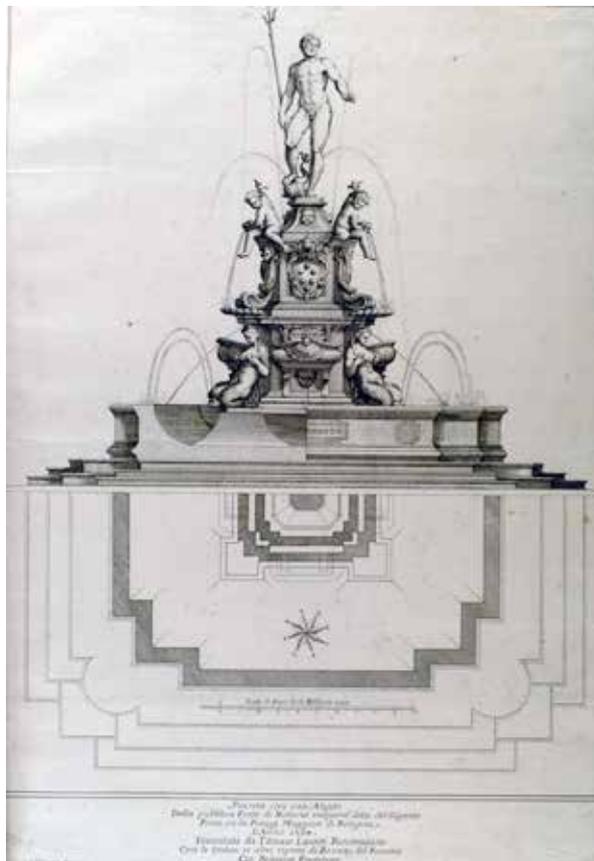


Figura 1: Pianta e Alzato della Fontana del Nettuno, Marcantonio Chiarini della Fontana Publica del 1763 (B.C.A.Bo).

1.1 Ricostruzione del sistema idraulico originario della Fontana del Nettuno

Le acque provenienti dalla Fonte Remonda giungevano in una conserva sotterranea situata all'altezza della chiesa dell'Annunziata dove si univano all'acqua proveniente da Bagni di Mario; da qui l'acqua passava in un condotto formato da orcioli di terracotta contenuti in un cunicolo praticabile d'altezza di 4 piedi e 2 onces (1.60 m), che conduceva direttamente alle fontane seguendo il tracciato di via San Mamolo (attuale via D'Azeglio) per una lunghezza di circa 30 pertiche (114 m) fino alla Porta, e di altre 231 (877.8 m) sino alla piazza (Zanotti A., 2000).

Nella Relazione del Laureti (Fondo Gozzadini, Manoscritti, Gozz. n. 180, 7 (c. 23)) una particolare attenzione fu dedicata alla descrizione degli orcioli. La relazione riporta anche il disegno dell'orciolo, lungo 1 piede (38 cm), di spessore di circa 3 onces e mezzo (2 cm) e di forma tronco-conica per consentire l'incastro: "...devono essere appiramidati, andare digradando dalla porta alla fonte." Come si può in Figura 2, l'orciolo presentava delle scanalature. Queste venivano riempite con una mistura di polvere di terra cotta, schiuma di ferro e calcina spenta per sopperire alle eventuali imperfezioni, quali buchi o crepe, che potevano avvenire durante la cottura, e per garantire una maggiore tenuta idraulica.



Figura 2: Gozzadini 180, 7 (23), particolare dell'orciolo in terracotta disegnato da Tommaso Laureti nella sua relazione

In prossimità della Fontana del Nettuno il condotto di orcioli si inseriva in un “cannone” di piombo lungo circa sei piedi (2.28 m) attraverso una pietra di selce traforata. La tenuta idraulica era garantita da una mistura di cera, pece e polvere di silice che veniva applicata a temperatura di fusione assicurando una rapida presa durante il raffreddamento. Tale condotto in piombo era studiato in modo che si dividesse in due rami: uno diretto alla fonte piccola e l'altro indirizzato alla fontana grande. Quest'ultimo girando intorno alla fonte, aveva un andamento ottagonale con l'inserimento di quattro canne su quattro lati per condurre l'acqua a tutte le figure della fontana:

“...che al più vicino alla Fonte s'inserisce in una pietra di selice traforata, et nel buco della quale, verso la Fonte, v'è inserito un cannone di piombo lungo circa sei piedi, il quale poco discosto dal suo fine si divide in due rami. Uno serve per condurre l'acqua alla fonte piccola, l'altro girando intorno al moto della Fonte fa una forma di otto facce nelle quattro delle quali vi sono inserite le canne, che portano l'acqua alla fonte, quali sono venti cinque, ma alcune si dividono in due come sono le quattro sirene, li cinque delfini et le quattro maschere, et altri nasi piccioli di modo che sono in tutto trenta otto spinelli che potrebbero gettare acqua nella fonte, et tutte queste canne hanno le chiavi per potere aprire e serrare qual si vuole con il segno da potere conoscere dove portano l'acqua.”

“Ma è da notare che tutto il nominato cannone è incastrato in una forte pietra, della medesima forma ottagonale, et con alcune fittole impiombate che lo tengono fermo in essa pietra, et tutto il canale, dove è incastrato, è pieno del medesimo stucco fatto con fuoco, che ho nominato, et sopra vi ho fatto ponere un'altra grossa pietra traforata dove passano le canne. Questa diligenza si è usata acciorchè la furia dell'acqua non facesse andare in alto tal cannone, et la medesima avvertenza s'è usata agli orcioli, poichè sono stati posti sopra un muro di altezza di circa a due piedi e mezzo, s'è murato sopra un muricciolo per ogni commettitura.”

Nel corso degli anni i guasti ai manufatti si susseguirono senza tregua ed a partire dalla metà del XVII secolo si fece più urgente la necessità di poter disporre di una maggiore quantità d'acqua per la popolazione. Il sistema idraulico che riforniva le fontane venne disattivato solo nel 1881, in seguito all'allacciamento del moderno acquedotto (Coccolini G., Marcolin M., 2000). Con questo passaggio la regolazione dei getti della Fontana del Nettuno cessa di essere vincolata alle altimetrie ed alle caratteristiche degli orcioli del sistema di alimentazione originario.

1.1.1 Osservazioni

Si può osservare che in tutte le simulazioni eseguite per il sistema di alimentazione compreso tra la Conserva dell'Annunziata e la Fontana del Nettuno con i diversi scenari di portata, il condotto in orcioli entra in pressione dalla conserva dell'Annunziata solo se transita una portata di 4 l/s e avendo assegnato al condotto in orcioli un coefficiente di scabrezza equivalente di Gauckler Strickler pari a $40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Attraverso la simulazione numerica si è potuto dedurre con buona approssimazione che lo scenario di portate con cui funzionava il sistema nel 1500 poteva essere compreso tra 1 e 4 l/s (Copioli, 2003).

1.2 Ugelli che compongono la Fontana del Nettuno

1.2.1 Classificazione

La classificazione degli ugelli si basa sulla struttura semantica indicata in Figura 3.

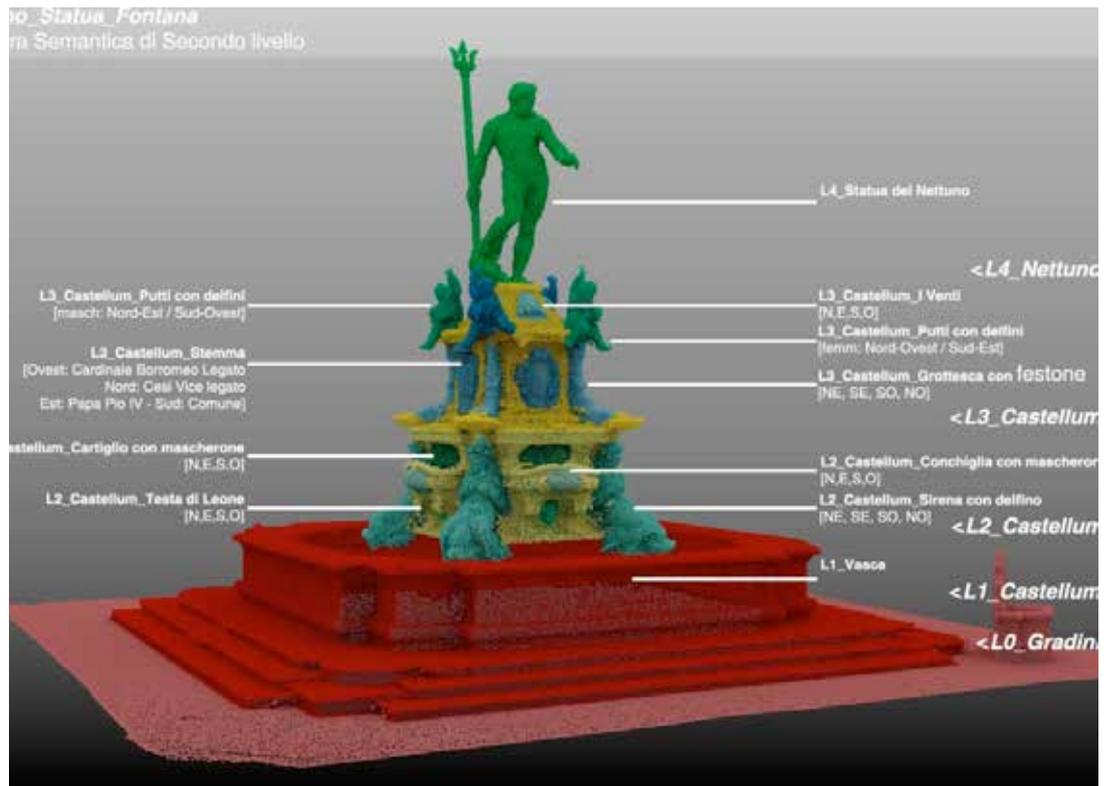


Figura 3:
Classificazione
degli ugelli

1.2.2 Misura delle portate della Fontana del Nettuno

Il livello L2_Castellum è caratterizzato dalla presenza di quattro sirene con delfini (Figure 4 e 5) posti in corrispondenza degli spigoli del Castellum, mentre sulle facciate sono poste quattro teste di leone (Figura 6) dalla cui bocca esce un doppio zampillo. Sopra a ciascuna testa di leone si trova il getto del cartiglio con mascherone (Figura 7) diretto nella vasca da cui esce, come sfioro a battente, il getto dell'ugello relativo alla conchiglia con mascherone (Figura 7). In Figura 8 è possibile vedere un dettaglio della vasca.

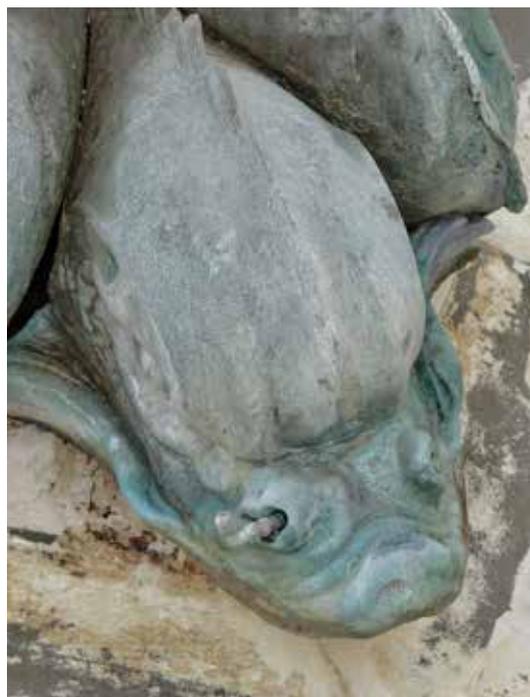


Figura 4:
L2_Castellum_Delfino



Figura 5 sx e dx:
L2_Castellum_Sirena



Figura 6 sx e dx:
L2_Castellum_Leone

Figura 7: L2_ Castellum_Cartiglio con mascherone (sinistra) e conchiglia con mascherone (destra)

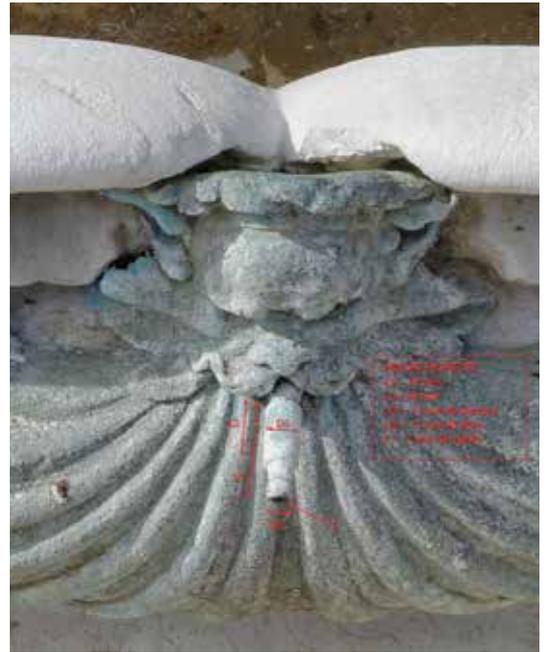


Figura 8: L2_Castellum_Vasca



Il livello L3_Castellum è caratterizzato dagli zampilli più alti: quattro venti (Figura 9) sulle facciate del Castellum e quattro putti posti negli angoli che portano in grembo un delfino dalla cui bocca esce un getto d'acqua (Figura 10). Infine, il livello L4_Statu del Nettuno è caratterizzato da un doppio zampillo relativo al delfino posto sotto al piede della statua (Figura 11). La Figura 12 riassume i getti e mostra lo sviluppo del cunicolo in cui è posta la condotta di alimentazione.



Figura 9 sx e dx:
L3_Venti



Figura 10 sx e dx:
L3_Putto con delfino

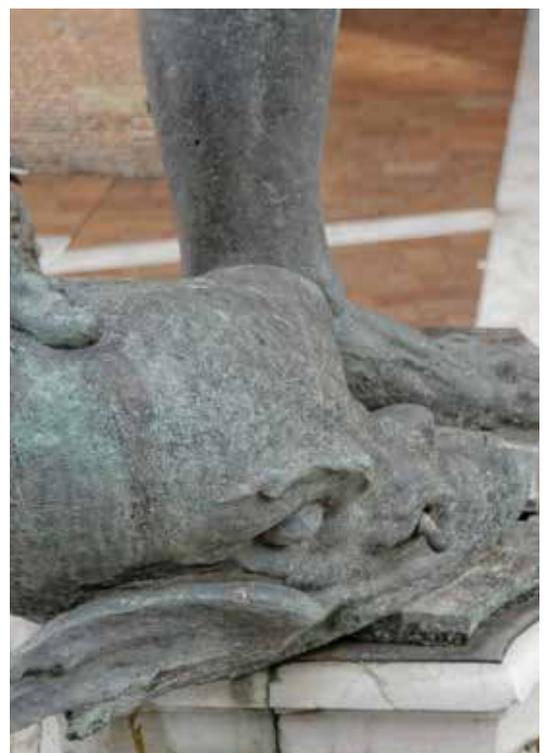


Figura 11 sx e dx:
L4_Delfino Nettuno

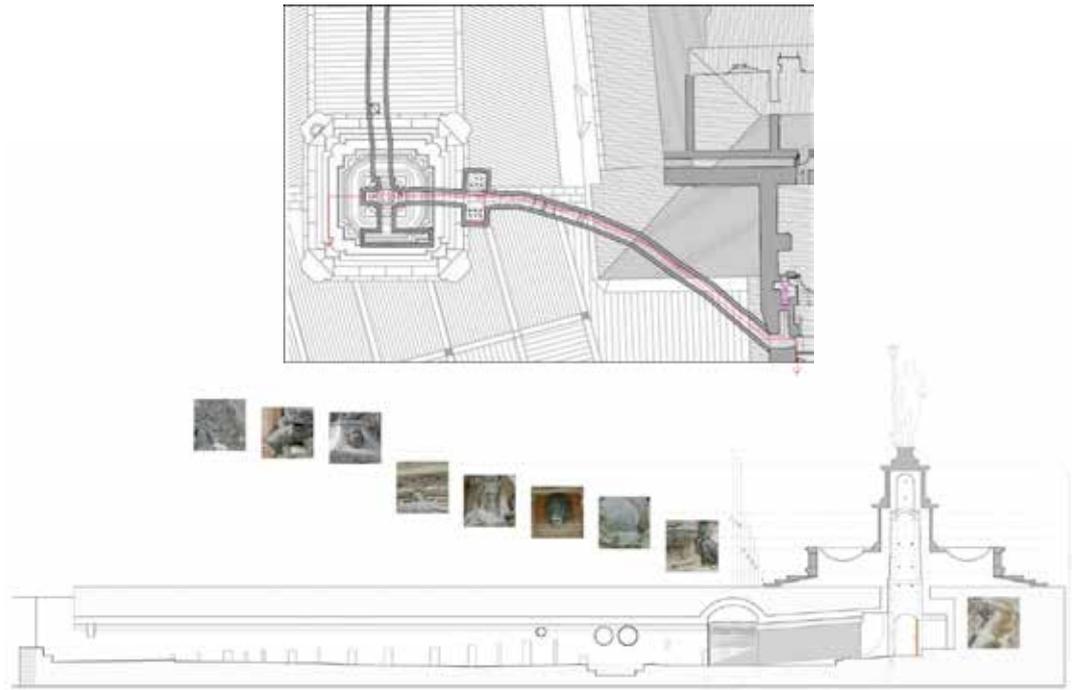


Figura 12:
Pianta e sviluppo lungo
l'asse del cunicolo
della condotta
di alimentazione
degli ugelli

Per quanto riguarda il livello dell'acqua nella vasca (Figura 14), la situazione attuale mostra un livello superiore a quello necessario a far sì che l'acqua lambisca la testa dei delfini in modo che questi risultino appoggiati sul pelo libero. Un livello eccedente ha contribuito allo stato di alterazione della superficie dei bronzi dei delfini nella zona di contatto con l'acqua e può aver alterato la superficie esterna del Castellum compromettendone la tenuta idraulica, per cui la parete appare sede di filtrazione.

In Figura 15 è invece posta a confronto la traiettoria dei getti con riferimento a tre differenti momenti storici. In particolare non appare corretta la tracimazione dalle conchiglie che ricevono l'acqua dei delfini dei putti, come mostra la Figura 16. Il particolare di Figura 17 lascia aperto il quesito sulla traiettoria dell'acqua che sfiora dalle conchiglie. A questo fine è stata eseguita una prova in campo per analizzare le effettive traiettorie ed evitare lo sfioro delle conchiglie.

La prova ha mostrato come attualmente dei quattro getti dai delfini dei putti risulti correttamente funzionante solo l'ugello L3_Castellum_putti con delfiniSO. La misura di portata all'ugello è pari a 0.052 l/s, 2,7 volte superiore al valore rilevato nel 2003, pari a 0.019 l/s (Tabella 1). L'effetto estetico del getto è corretto, lo sfioro dalla conchiglia è però inferiore a quello massimo consentito; ciò dimostra che questo valore di portata può essere incrementato senza avere tracimazione dalla conchiglia e mantenendo lo sfioro dai beccucci posto sui due lati della conchiglia (Figura 13).

Figura 13:

Particolare dello sfioro della conchiglia posta al livello L3_Castellum alimentata dal delfino dei putti: si nota come lo sfioro non sia simmetrico sui due lati della conchiglia e come il getto vada ad interessare i bronzi della sirena



A questo proposito l'analisi visiva del getto mostra come i due condotti di sfioro della conchiglia non siano simmetrici e posti su uno stesso piano orizzontale, infatti l'acqua sfiora solo dal beccuccio più a nord. Inoltre si conferma come con la portata attuale ed a maggior ragione con quella misurata nel 2003, la traiettoria dell'acqua sfiorata dalla conchiglia vada ad interessare parte dei bronzi delle sirene (Figura 13).

Si ritiene comunque che sia possibile individuare una portata opportuna associata ad una corretta inclinazione degli ugelli che consenta di preservare i bronzi, aspetto ovviamente importante per preservare gli effetti del restauro nel tempo.



Figura 14:

Particolari del livello di acqua nella vasca e dei punti di sfioro con riferimento alla situazione attuale ed alle fonti storiche



Figura 15:

(a) ACA-F-037828-0000: La base della fontana del Nettuno a Bologna, opera del Giambologna., 1920-1930 ca., Archivi Alinari, Firenze;
 (b) immagine da depliant Ufficio turistico 1963
 (c) Chiarini, M. 1763, Piante con i suoi Alzati, Profili, e notizie delle origini delle acque, che servono al Pubblico Fonte della Piazza Maggiore della città di Bologna con altri annessi, che spettano alla medesima, opera postuma di Marcantonio Chiarini Bolognese Pittore, Architetto e Accademico Clementino, Bologna. (B.C.A.Bo)

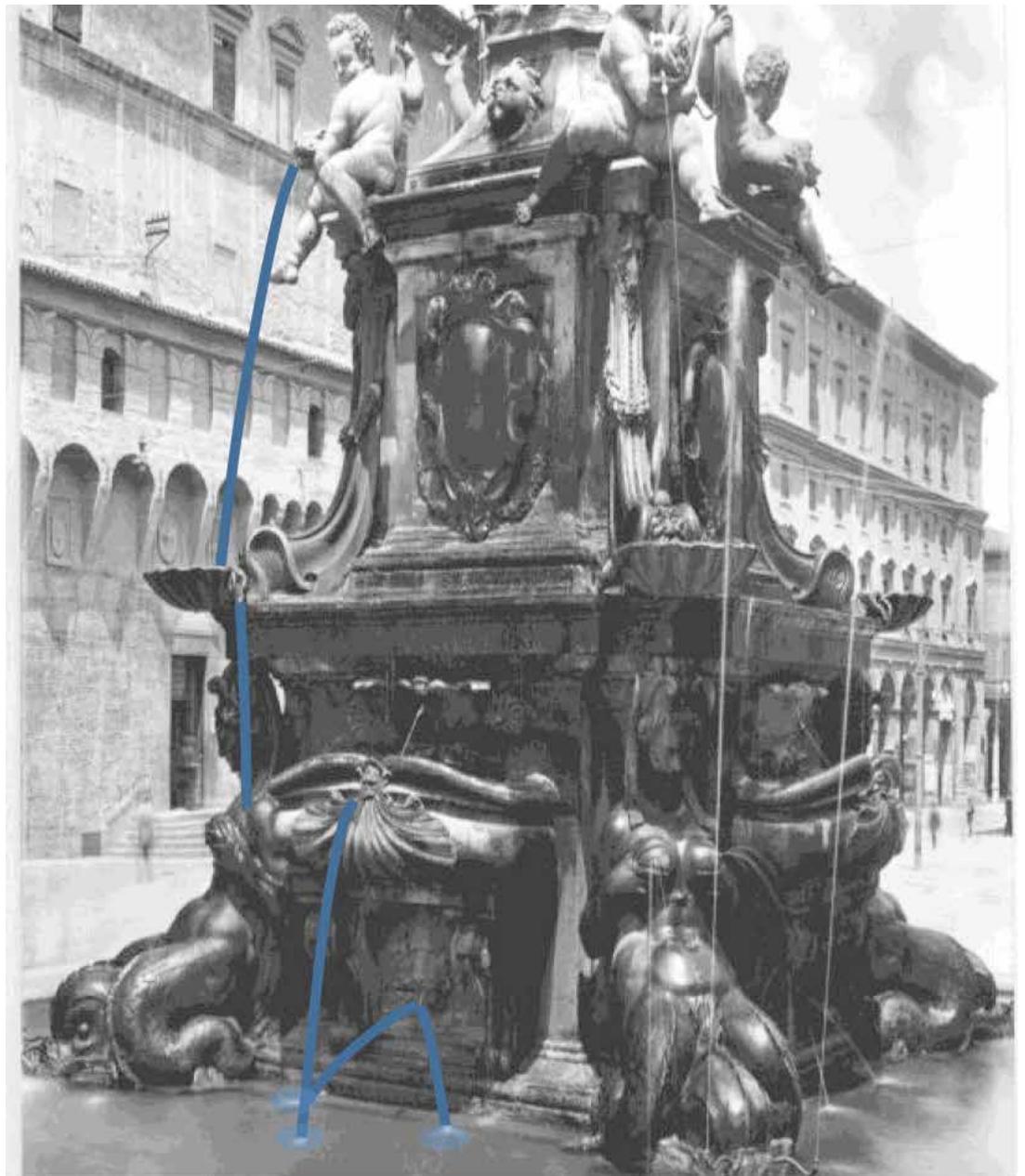


Figura 16:

(a) Particolare della traiettorie dei getti e dello sfioro dalle conchiglie che sembra interessare le sirene nella foto ACA-F-037828-0000: La base della fontana del Nettuno a Bologna, opera del Giambologna., 1920-1930 ca., Archivi Alinari, Firenze;

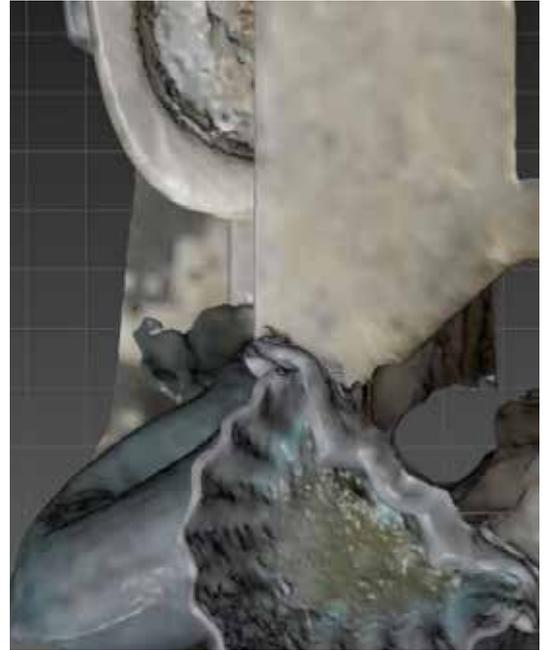


Figura 17:
Particolare del condotto di sfioro della conchiglia posta al livello L3_Castellum alimentata dal delfino dei putti e individuazione della traiettoria di sfioro

1.2.2 Misura delle portate della Fontana del Nettuno

Per l'analisi dei singoli getti della Fontana del Nettuno nell'attuale configurazione in cui è presente un sistema di ricircolo, si è fatto riferimento ai dati relativi al 2003, ottenuti attraverso la misura della portata dei singoli ugelli (Copioli, 2003).

Utilizzando un imbuto collegato ad un tubo di gomma lungo circa sette metri, incernierato ad un'asta metallica estendibile, l'acqua è stata convogliata in contenitori di plastica della capacità di uno e due litri, e durante il prelievo sono stati misurati con un cronometro i tempi necessari al riempimento degli stessi; questa soluzione ha permesso di raggiungere anche gli ugelli più alti (Figura 17). Sono stati scelti gli zampilli più rappresentativi di quella che poteva essere l'originario funzionamento per ogni tipologia di ugello, in quanto già nel 2003 i getti della fontana non spruzzavano acqua in modo costante e simmetrico.



Figura 18:
Misure di portata (Copioli, 2003)

La Tabella 1 mostra il dettaglio delle portate misurate e stimate corrispondenti alla configurazione di funzionamento della Fontana del Nettuno al 2003 (Copioli, 2003). In Tabella 2 si riassume invece il contributo complessivo per ogni linea di getto. Per concludere, sommando la portata di ogni linea di getto, la portata complessivamente misurata alla Fontana del Nettuno è stata pari a 0.9658 l/s.

Tabella 1:
Tabella 1 Misure di portata (Copioli, 2003)

IDgetto	LIVELLO	Getto	N. sottogetti	Origine	Portata getto misura 2003 (l/s)	% contributo alla portata complessiva
1	L2_Castellum	DelfinoNE	2	misura	0.0593	6.14
2	L2_Castellum	DelfinoSE	2	stima	0.0593	6.14
3	L2_Castellum	DelfinoSO	2	stima	0.0593	6.14
4	L2_Castellum	DelfinoNO	2	stima	0.0593	6,14
5	L2_Castellum	LeoneN	2	misura	0.0552	5.72
6	L2_Castellum	LeoneE	2	stima	0.0521	5.39
7	L2_Castellum	LeoneS	2	misura	0.0489	5.06
8	L2_Castellum	LeoneO	2	stima	0.0521	5.39
9	L2_Castellum	SirenaNE	10	stima	0.0934	9.67
10	L2_Castellum	SirenaSE	10	misura	0.0934	9.67
11	L2_Castellum	SirenaSO	10	stima	0.0934	9.67
12	L2_Castellum	SirenaNO	10	stima	0.0934	9.67
13	L2_Castellum	Conchiglia con mascheroneN	1	-	-	-
14	L2_Castellum	Conchiglia con mascheroneE	1	-	-	-
15	L2_Castellum	Conchiglia con mascheroneS	1	-	-	-
16	L2_Castellum	Conchiglia con mascheroneO	1	-	-	-
17	L2_Castellum	Cartiglio con mascheroneN	1	misura	0.0118	1.22
18	L2_Castellum	Cartiglio con mascheroneE	1	stima	0.0120	1.24
19	L2_Castellum	Cartiglio con mascheroneS	1	misura	0.0122	1.26
20	L2_Castellum	Cartiglio con mascheroneO	1	stima	0.0120	1.24
21	L3_Castellum	ConchiglieNE	2	-	-	-
22	L3_Castellum	ConchiglieSE	2	-	-	-
23	L3_Castellum	ConchiglieSO	2	-	-	-
24	L3_Castellum	ConchiglieNO	2	-	-	-
25	L3_Castellum	Putti con delfiniNE	1	misura	0.0185	1.92
26	L3_Castellum	Putti con delfiniSE	1	stima	0.0192	1.99
27	L3_Castellum	Putti con delfiniSO	1	stima	0.0192	1.99
28	L3_Castellum	Putti con delfiniNO	1	misura	0.0199	2.06
29	L3_Castellum	VentiN	1	misura	0.0060	0.62
30	L3_Castellum	VentiE	1	stima	0.0055	0.57
31	L3_Castellum	VentiS	1	misura	0.0049	0.51
32	L3_Castellum	VentiO	1	stima	0.0055	0.57
33	L4_Statua Nettuno	Delfino Nettuno	1	-	-	-
			81		0.9658	100.00

ID linea getto	LIVELLO	Linea Getto	N. sottogetti	Portata linea getto (l/s)	contributo alla portata complessiva (%)
1	L2_Castellum	Delfino	8	0.2372	24.56
2	L2_Castellum	Leone	8	0.2083	21.57
3	L2_Castellum	Sirena	40	0.3736	38.68
4	L2_Castellum	Cartiglio con mascherone	4	0.0480	4.97
5	L3_Castellum	Putti con delfini	4	0.0768	7.95
6	L3_Castellum	Venti	4	0.0219	2.27
7	L4_Statua Nettuno	Delfino Nettuno	1	-	-
			69	0.9658	100.00

Tabella 2:
Misure di portata per ciascuna linea di getto (Copioli, 2003)

Le Figure 19 - 24 mostrano l'effetto estetico corrispondente alle portate rilevate.



Figura 19:
Zampilli Leone (L2_Castellum): portata media complessiva 0.0521 l/s (Copioli, 2003)



Figura 20 sx:
Zampilli Delfino (L2_Castellum): portata media complessiva 0.0593 l/s (Copioli, 2003)

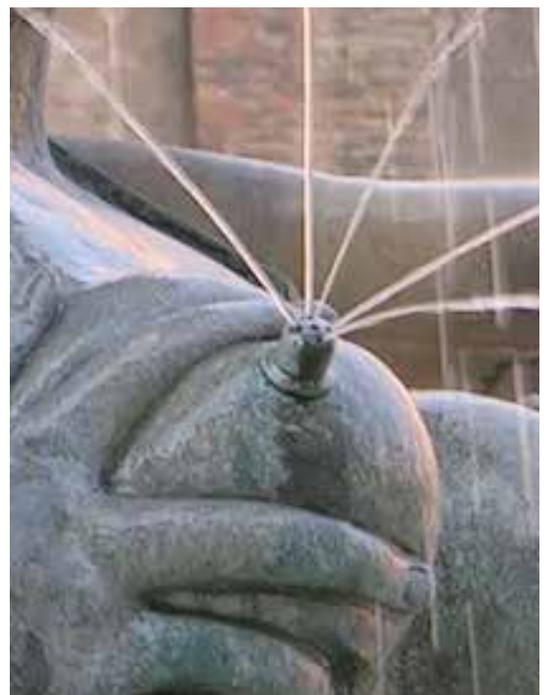


Figura 21 dx:
Zampilli Sirena (L2_Castellum): portata media complessiva 0.0934 l/s (Copioli, 2003)

Figura 22:
Zampilli Cartiglio con
mascherone (L2_
Castellum): portata
media 0.0120 l/s
(Copioli, 2003)



Figura 23:
Zampilli Vento (L3_
Castellum): portata
media 0.0055 l/s
(Copioli, 2003)



Figura 24:
Zampilli Vento (L3_
Castellum): portata
media 0.0192 l/s
(Copioli, 2003)



1.2.3 Osservazioni

Dall'analisi della configurazione di funzionamento della Fontana del Nettuno del 2003 si possono dedurre alcune osservazioni:

Il getto del Delfino del Nettuno (L4_Castellum) non è in funzione e che la portata dei Venti (L2_Castellum) è molto bassa, come conferma l'effetto estetico dello zampillo di Figura 23 e il contributo dell'intera linea di getto pari al 2.27 % (Tabella 2);

La portata dei Delfini (L2_Castellum) è confrontabile con quella dei Leoni (L2_Castellum), da cui si può dedurre che la portata dei Delfini è un po' bassa, come lascia dedurre anche lo zampillo di Figura 20.

L'analisi visiva del getto per i due condotti di sfioro della conchiglia (L3_Castellum) mostra che non sono simmetrici e posti su uno stesso piano orizzontale, infatti l'acqua sfiora principalmente dal beccuccio più a nord con una traiettoria che va ad interessare parte dei bronzi delle sirene. Si ritiene comunque che calibrando opportunamente la portata e l'inclinazione dell'ugello del delfino dei putti si possa evitare questa intersezione.

Da una valutazione visiva dell'effetto estetico dei getti, si può ritenere la portata misurata nel 2003 una portata di minimo funzionamento.

Il complesso di queste osservazioni fa dedurre che la portata della Fontana del Nettuno misurata nel 2003 e complessivamente pari a 0.9658 l/s, non sia sufficiente a garantire un disegno dei getti esteticamente armonico e coerente con i disegni disponibili dalle fonti storiche.

1.3 Ricognizione del sistema idraulico attuale della fontana del nettuno

Nel tempo la Fontana del Nettuno è stata oggetto di interventi di restauro, che hanno previsto il rifacimento del sistema idrico. Attualmente la fontana ha un funzionamento a ricircolo (Figure 25 – 28), l'acqua in uscita dagli ugelli viene convogliata per caduta dagli sfioratori posti nella vasca principale in un tubo in PVC del diametro di 150 mm. La tubazione trasferisce l'acqua a gravità in una vasca ubicata nel sotterraneo di palazzo d'Accursio; da qui l'acqua giunge ad una coppia di pompe (delle quali una in funzione e l'altra di riserva) che forniscono la pressione necessaria affinché l'acqua possa nuovamente fuoriuscire dagli ugelli. La condotta di mandata della pompa giunge in una nicchia del cunicolo che nel '500 conduceva alla fontana Vecchia. La portata viene quindi ripartita in modo da avere una condotta per ogni singolo getto attraverso 34 tubi in PVC del diametro di 25 mm. Ciascun condotto è munito di una valvola che permette di regolare la pressione di ogni ugello e quindi di intervenire sull'intensità del getto; complessivamente si hanno 34 valvole che regolano 34 ugelli (in totale gli ugelli sono 38 ma i 4 ugelli che escono dalle conchiglie con maschera fungono da sfiori per le vasche in cui sono posti).

Il locale sotterraneo sopraindicato ospita sia l'opera di presa acqua proveniente dalla rete acquedottistica di Bologna per il reintegro dell'acqua dispersa in aria e nel suolo, sia il sistema di condizionamento e trattamento cui sono sottoposte le acque di ricircolo prima del ritorno alla pompa di mandata alla fontana. Non esiste un percorso praticabile e diretto di collegamento fra tale locale tecnico e la zona sottostante il monumento.

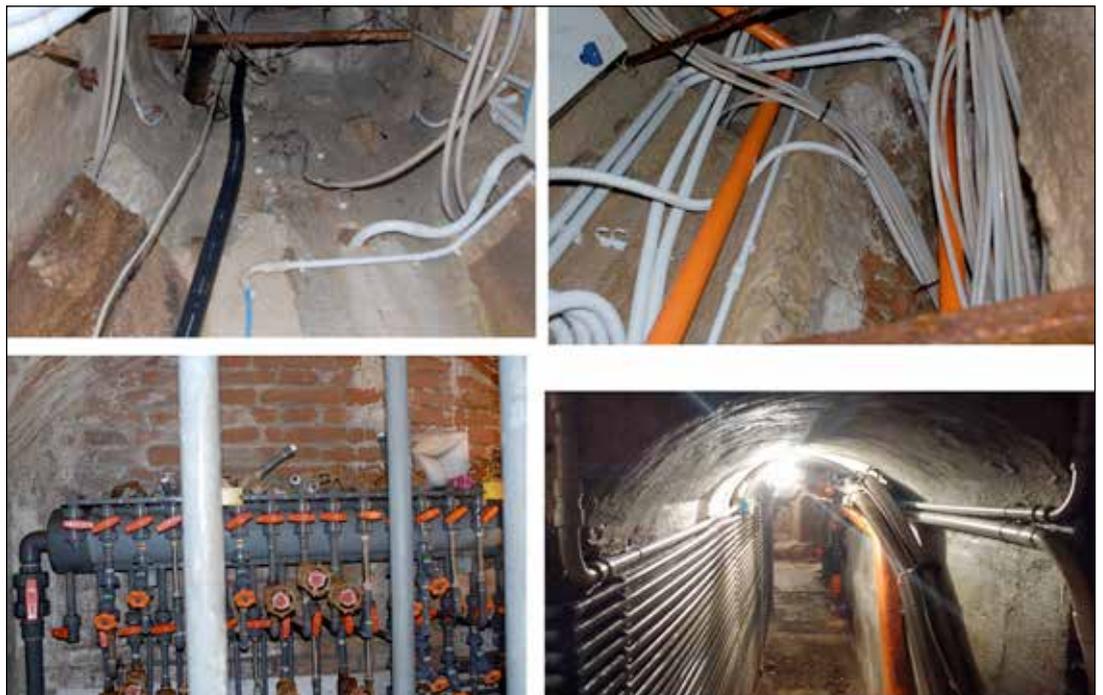
Figura 25:
Sistema attuale di
alimentazione della
Fontana del Nettuno



Figura 26:
Valvole di regolazione
dei getti del
sistema attuale di
alimentazione della
Fontana del Nettuno



Figura 27:
Attuale impianto di
alimentazione degli
ugelli della Fontana del
Nettuno



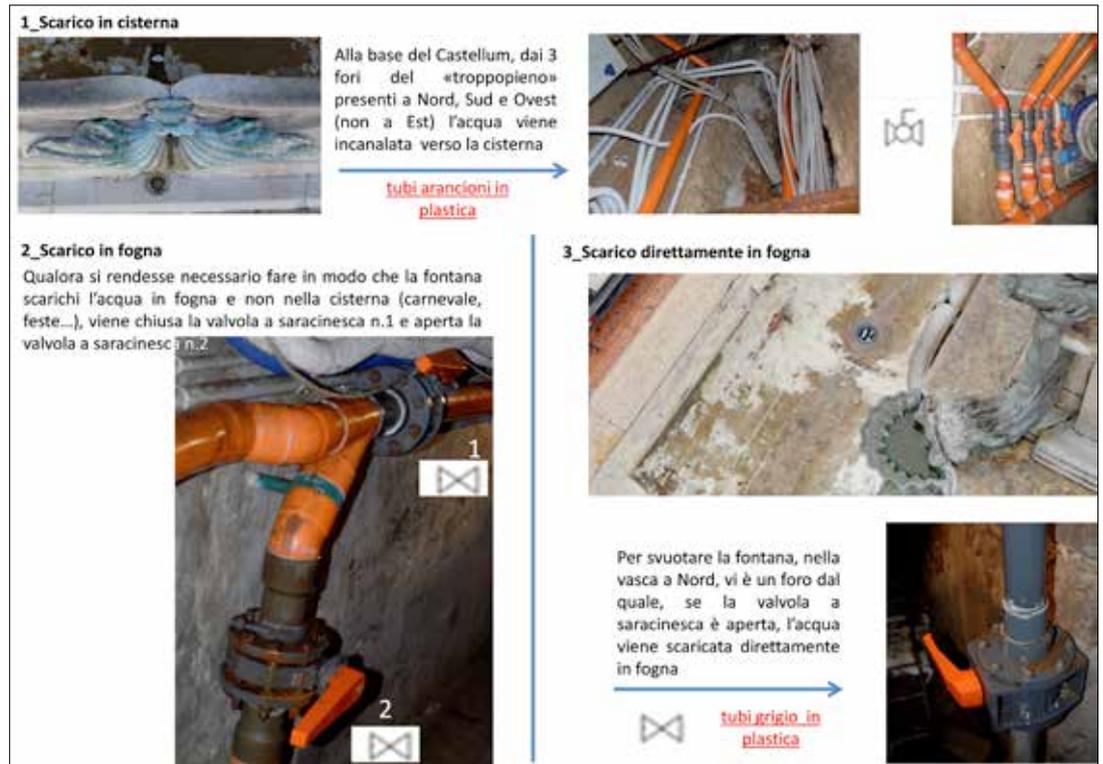


Figura 28: Particolare del sistema di ricircolo nella parte di ritorno dalla vasca principale della Fontana del Nettuno



Figura 29: Particolare del punto di collegamento mediante un tratto di tubazione in piombo tra la tubazione di alimentazione e l'ugello per i getti dei Delfini (L2_Castellum) (sinistra) e per getti posti al livello superiore (destra).

2. LINEE GUIDA PER IL DISEGNO DEI GETTI DELLA FONTANA DEL NETTUNO

Dall'analisi dei getti, in generale si può affermare che il funzionamento di alcuni ugelli è fortemente vincolato e quindi il fine del progetto consiste nel trovare un disegno che rispetti le condizioni imposte, mentre altri hanno un funzionamento indipendente.

Il disegno dei getti della Fontana del Nettuno è stato individuato cercando di trovare una coerenza tra:

- le immagini disponibili relative alle fonti storiche;
- la capacità di trasporto dell'antico sistema di alimentazione delle Fontane di Piazza, stimata sulla base della simulazione numerica del condotto in orcioli compreso tra la conserva dell'Annunziata e la Fontana stessa (parag. 1.1);
- le misure di portata dei singoli getti della Fontana del Nettuno rilevate nel 2003 (parag. 1.2);
- la tipologia di zampillo che, per l'epoca di realizzazione della Fontana e la forma degli ugelli, si configura come laminare e trasparente.

Da questi presupposti, si è ricercato un disegno armonico nelle altezze degli zampilli che risultasse al contempo coerente con le zone disponibili per la caduta dei getti nella vasca principale.

Un punto delicato è costituito dal getto derivante da ciascuno dei due sfiori a stramazzo presenti in ciascuna Conchiglia (L3_Castellum), la quale riceve l'acqua dai Delfini dei Putti (L3_Castellum). È necessario identificare il punto di caduta di tali getti per evitare che questi vadano ad interessare i bronzi, in particolare delle Sirene. Nel seguito si fa l'ipotesi che il punto di caduta di tali getti avvenga direttamente nella vasca principale, questo aspetto dovrà essere verificato direttamente con prove sulla Fontana.

Per quanto riguarda il livello d'acqua nella vasca deve essere tale da lambire la testa dei delfini che quindi deve risultare appoggiata sul pelo libero, così da garantire un corretto effetto estetico e da preservare lo stato dei bronzi. Di conseguenza va verificato il livello delle bocche di sfioro della vasca. In Tabella 3 è riassunto lo schema idraulico degli ugelli.

Le Figure 30, 31, 32 presentano una prima visualizzazione delle traiettorie dei getti.

ID linea getto	LIVELLO	linea getto	uscite	ugelli	zampilli
1	L2_Castellum	Delfino	4	8	8
2	L2_Castellum	Leone	4	4	8
3	L2_Castellum	Sirena	4	8	40
4	L2_Castellum	Cartiglio con mascherone	4	4	4
5	L3_Castellum	Putti con delfini	4	4	4
6	L3_Castellum	Venti	4	4	4
7	L4_Statua Nettuno	Delfino Nettuno	1	2	2
			25	34	70

Tabella 3:
Schema idraulico degli ugelli e zampilli della Fontana

Viene nel seguito mostrata una prima visualizzazione delle traiettorie dei getti, con i relativi valori di portata su ciascuna linea di getto seguita dalle equazioni delle parabole. La procedura ha mostrato una coerenza tra le misure di portata del 2003 e le dimensioni rilevate per gli ugelli, che risultano pari a 3 mm nella maggior parte dei casi. Per le osservazioni fatte nel paragrafo 1.2, la portata misurata nel 2003 e pari a 0.9658 l/s non appare sufficiente a garantire un disegno dei getti esteticamente armonico e coerente con i disegni disponibili dalle fonti storiche.

Le Figure 30, 31 e 32 mostrano il disegno dei getti in progetto per la Fontana del Nettuno nella sezione mediana (Figura 30), diagonale (Figura 31) e sovrapposte (Figura 32). A questo disegno dei getti corrisponde una portata complessiva pari a 2.5 l/s

Figura 30:
Traiettorie dei getti in progetto nella vista frontale della Fontana del Nettuno

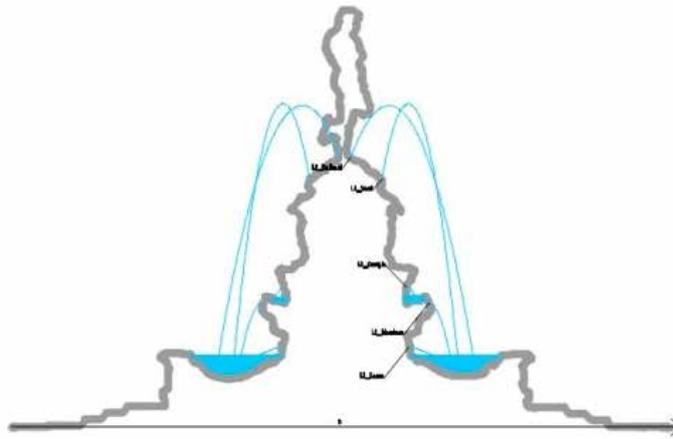


Figura 31:
Traiettorie dei getti in progetto nella vista diagonale della Fontana del Nettuno

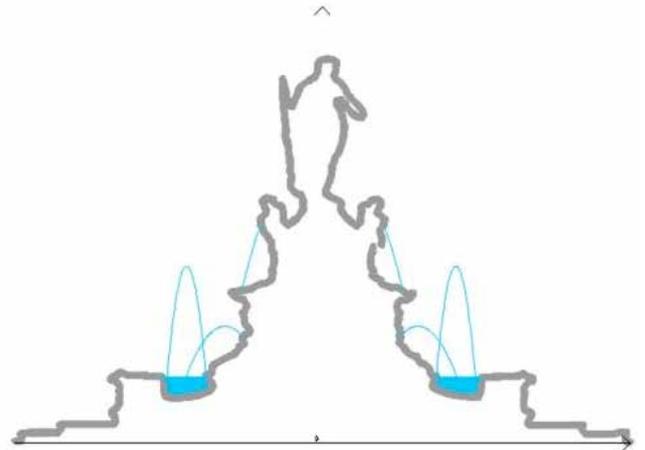
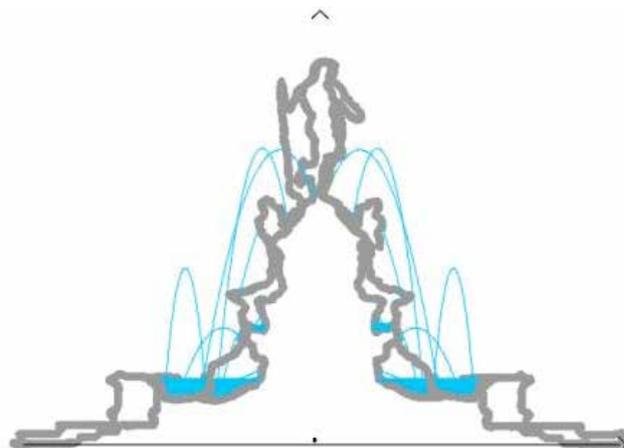


Figura 32:
Visualizzazione delle traiettorie dei getti in progetto della Fontana del Nettuno



2.1 Ugelli con getto secondo la sezione mediana

La Figura 33 mostra il disegno dei getti nella sezione mediana; gli ugelli ad essa relativi sono indicati in Tabella 4 e per essi si riportano nel seguito le equazioni della gittata.

	x (m)	y (m)
L2_LEONE	1.34	1.71
L2_MASCHERA	1.75	2.62
L2-CARTIGLIO	1.28	2.92
L3_VENTI	0.76	5.23
L4_DELFINO_N	0.10	5.68

Tabella 4:
Ugelli relativi alla sezione mediana

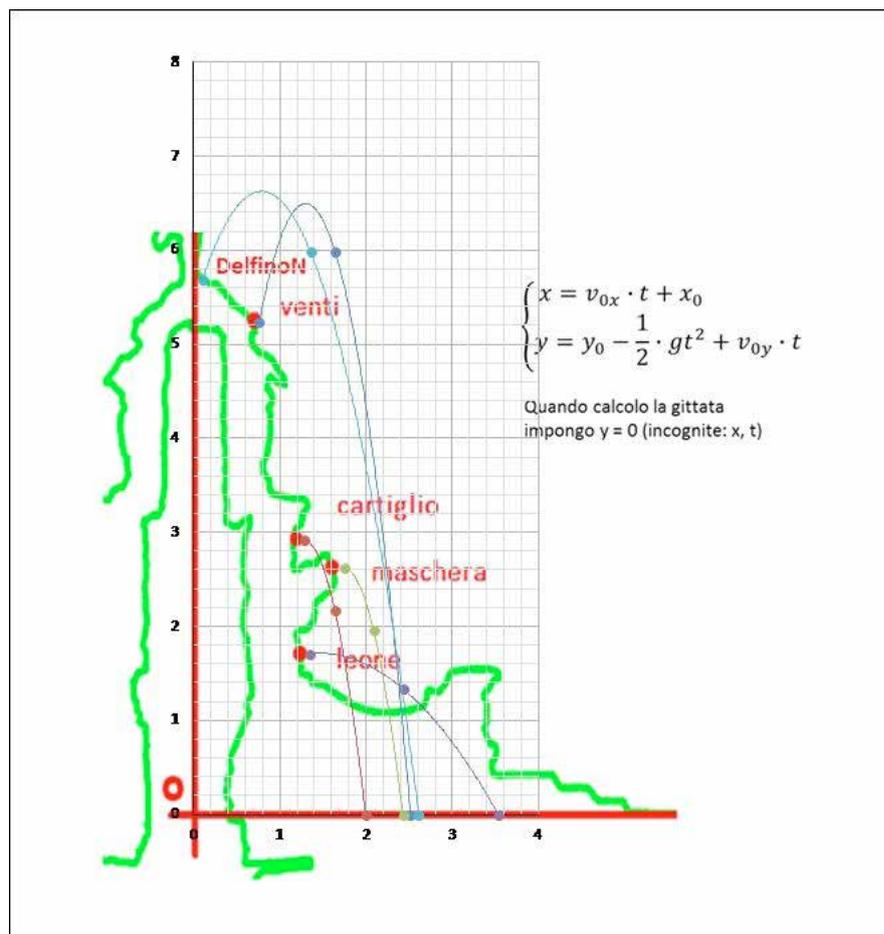
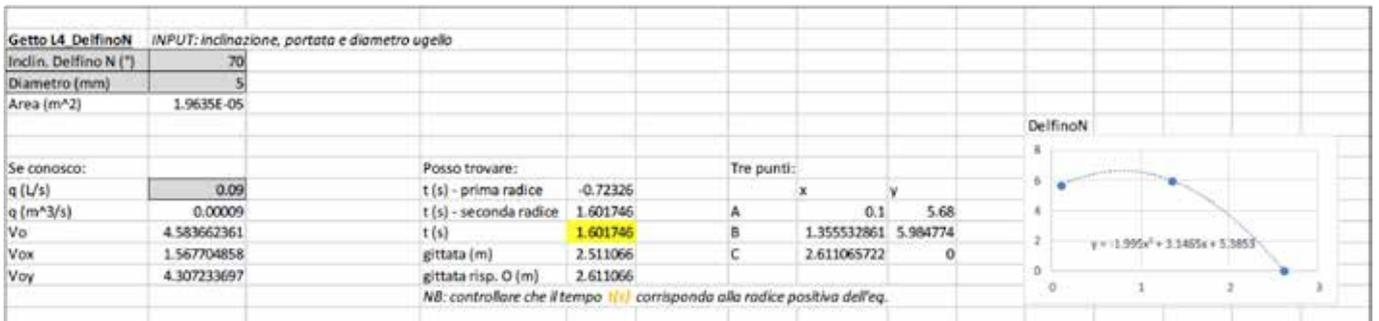
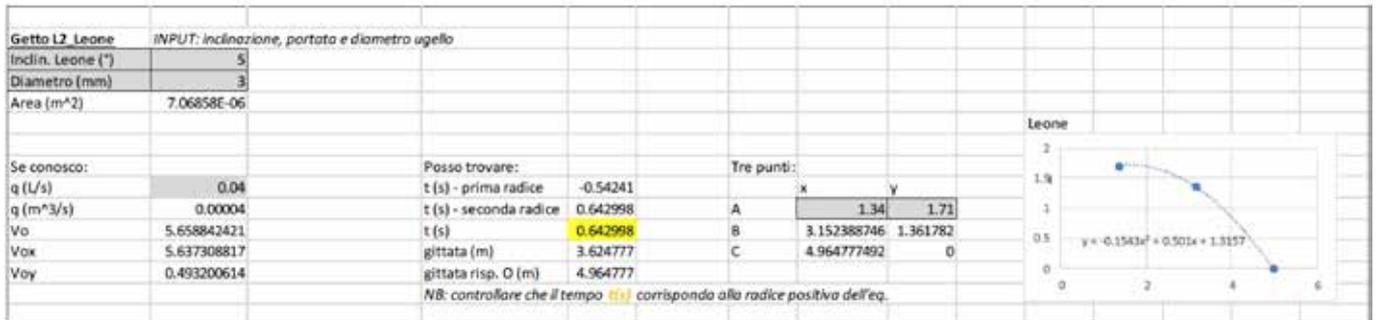
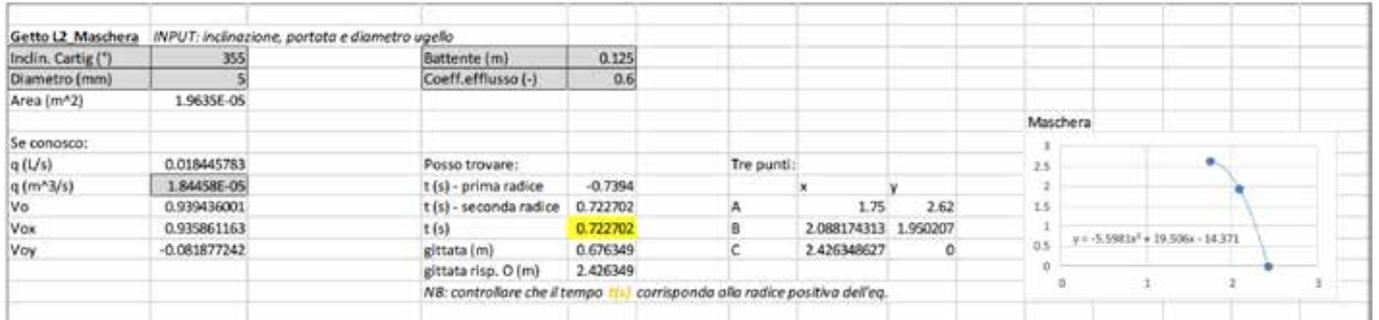
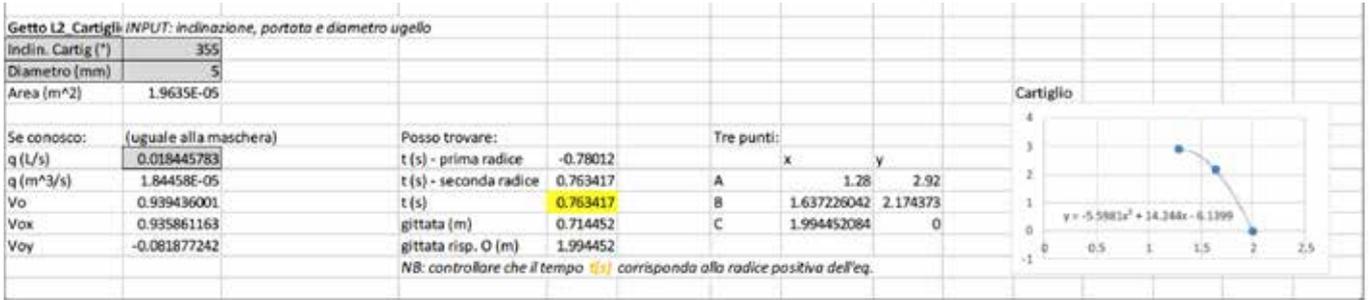


Figura 33:
Profilo dei getti nella sezione mediana

Getto L3 Venti		INPUT: inclinazione, portata e diametro ugello	
Inclin. Venti (°)	78		
Diametro (mm)	5		
Area (m ²)	1.9635E-05		
Se conosco:		Posso trovare:	
q (L/s)	0.1	t (s) - prima radice	-0.64297
q (m ³ /s)	0.0001	t (s) - seconda radice	1.659013
Vo	5.092958179	t (s)	1.659013
Vox	1.058885546	gittata (m)	1.756705
Voy	4.981664823	gittata risp. O (m)	2.516705
		NB: controllare che il tempo 1.659013 corrisponda alla radice positiva dell'eq.	
		Tre punti:	
		x	y
		A	0.76 5.23
		B	1.638352513 5.988662
		C	2.516705025 0



2.2 Ugelli con getto secondo la sezione diagonale

La Figura 34 mostra il disegno dei getti nella sezione diagonale; gli ugelli ad essa relativi sono indicati in Tabella 5 e per essi si riportano nel seguito le equazioni della gittata.

	x	y
SIRENA	1.80	2.45
DELFINO	2.62	1.53
PUTTO	1.41	5.00

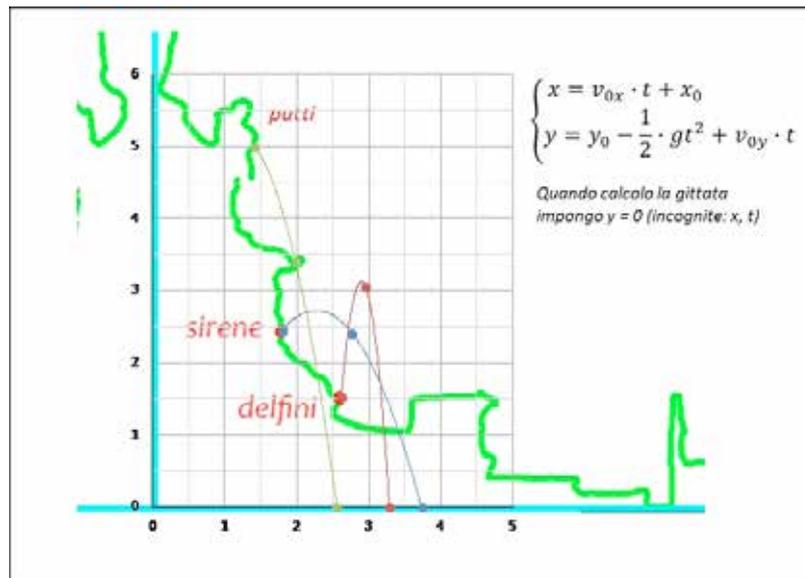
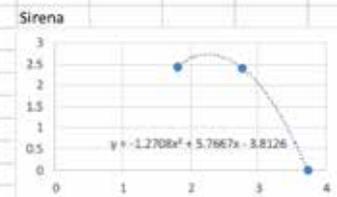
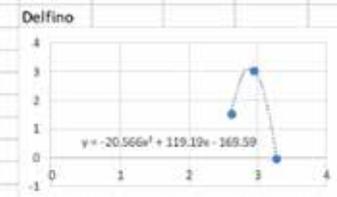


Figura 34:
Profilo dei getti nella
sezione diagonale

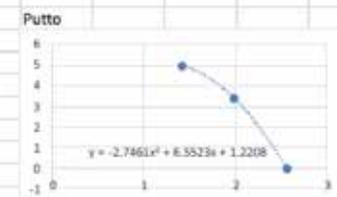
Getto L2 Sirene		INPUT: inclinazione, portata e diametro ugello					
Inclin. Sirene (°)	50						
Diametro (mm)	5						
Area (m ²)	1.96E-05						
Se conosco:		Posso trovare:		Tre punti:			
q (L/s)	0.06	t (s) - prima radice	-0.50739	x	y		
q (m ³ /s)	0.00006	t (s) - seconda radice	0.984827	A	1.8	2.45	
Vo	3.055775	t (s)	0.984827	B	2.767206	2.413835	
Vox	1.964214	gittata (m)	1.934411	C	3.734411	0	
Voy	2.340859	gittata risp. O (m)	3.734411				
NB: controllare che il tempo t(s) corrisponda alla radice positiva dell'eq.							



Getto L2 Delfini		INPUT: inclinazione, portata e diametro ugello					
Inclin. Delfini (°)	85						
Diametro (mm)	5						
Area (m ²)	1.96E-05						
Se conosco:		Posso trovare:		Tre punti:			
q (L/s)	0.11	t (s) - prima radice	-0.22834	x	y		
q (m ³ /s)	0.00011	t (s) - seconda radice	1.366611	A	2.62	1.53	
Vo	5.602254	t (s)	1.366611	B	2.953637	3.054242	
Vox	0.488269	gittata (m)	0.667273	C	3.287273	0	
Voy	5.580936	gittata risp. O (m)	3.287273				
NB: controllare che il tempo t(s) corrisponda alla radice positiva dell'eq.							



Getto L3 Putto		INPUT: inclinazione, portata e diametro ugello					
Inclin. Putto (°)	310						
Diametro (mm)	7						
Area (m ²)	3.85E-05						
Se conosco:		Posso trovare:		Tre punti:			
q (L/s)	0.08	t (s) - prima radice	-1.18521	x	y		
q (m ³ /s)	0.00008	t (s) - seconda radice	0.860425	A	1.41	5	
Vo	2.078758	t (s)	0.860425	B	1.98485	3.40746	
Vox	1.3362	gittata (m)	1.1497	C	2.5597	0	
Voy	-1.59242	gittata risp. O (m)	2.5597				
NB: controllare che il tempo t(s) corrisponda alla radice positiva dell'eq.							



Infine la Tabella 6 mostra un confronto tra i valori di portata progettati per il disegno dei getti delle Figure 28, 29 e 30 e i valori misurati nel 2003, relativamente a ciascuna linea di getto. Di può osservare che cambiano anche le proporzioni con cui ciascuna linea contribuisce alla portata complessiva che risulta pari a 2,50 l/s.

ID linea getto	LIVELLO	Linea Getto	N. sotto- getti	Portata linea getto 2003 (l/s)	% contri- buto alla portata complessi- va 2003	Portata in progetto linea getto (l/s)	% contri- buto alla portata comples- siva in progetto
1	L2_Castellum	Delfino	8	0.237	24.56	0.880	35.29
2	L2_Castellum	Leone	8	0.208	21.57	0.160	6.42
3	L2_Castellum	Sirena	40	0.374	38.68	0.480	19.25
4	L2_Castellum	Cartiglio con ma- scherone	4	0.048	4.97	0.074	2.96
5	L3_Castellum	Putti con delfini	4	0.077	7.95	0.320	12.83
6	L3_Castellum	Venti	4	0.022	2.27	0.400	16.04
7	L4_Statua Nettuno	Delfino Nettuno	2	-	-	0.180	7.22
			70	0.966	100.00	2.494	100.00

Tabella 6:
Schema idraulico
degli ugelli e zampilli
della Fontana

3. LINEE GUIDA PER DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO DI ALIMENTAZIONE DELLA FONTANA DEL NETTUNO

3.1 Schema impiantistico

Lo schema impiantistico della Fontana del Nettuno dovrà rispondere ad esigenze di semplicità di funzionamento per assicurare nel tempo affidabilità e minima manutenzione.

Le rilevanze emerse nella progettazione degli ugelli in modo da ripristinare un disegno dei getti coerente con il contesto storico, richiedono un incremento di portata e una diversa modalità di controllo che implicano la completa sostituzione del sistema di ricircolo ovvero della pompa, della linea di adduzione dalla pompa fino alle valvole per il controllo delle sette linee di getto e il sistema a valle di esse come nel seguito descritto.

Il progetto dei getti e l'impianto di ricircolo partono dal presupposto di poter completamente sostituire l'impianto idraulico attuale, che comunque non conserva parti relative al sistema originale della Fontana del Nettuno. In particolare la mancata sostituzione dell'ultimo tratto, probabilmente in piombo, che attualmente collega l'ugello con il tubo in plastica, non consentirebbe una regolazione dei getti per tipologia dal momento che il relativo stato di conservazione allo stato attuale può essere differente (Figura 28) e ciò compromette la progettazione così come presentata ed orientata al ripristino della funzionalità delle Fontana in modo coerente con il disegno storico e corretto sotto il profilo idraulico. Di fatto la mancata sostituzione dell'ultimo tratto implica di mantenere lo stato attuale ovvero una linea di alimentazione per

ogni singolo ugello in quanto le valvole di regolazione dei getti devono necessariamente essere posizionate in un luogo accessibile.

La pompa di ricircolo dovrà essere dotata di inverter e avere una condotta di mandata unica fino alla nicchia presente nel cunicolo attuale. Da questo partiranno sette linee, una per tipologia di getto così da assicurare la massima uniformità di pressione (Tabella 4).

In corrispondenza della nicchia, ciascuna linea sarà dotata di una valvola per il controllo della portata, che agiranno quindi su tutti gli ugelli ad essa collegati, così da avere una regolazione il più possibile uniforme per tipologia di getto.

Le linee saranno poste lungo la parete del cunicolo fino ad arrivare alla zona sottostante la Fontana. Da qui saliranno concludendosi con un anello in corrispondenza del livello corrispondente alla tipologia di getti. Ciascun anello avrà quattro uscite, tranne che nel caso della linea L4_Castellum_Delfino Nettuno caratterizzata da una sola uscita. Su ciascuna uscita è da prevedersi comunque una valvola, nel caso sia necessario intervenire per la regolazione oppure il sezionamento.

Per il materiale da adottarsi si propone il rame, ma rispetto a questa scelta è necessaria una verifica di compatibilità con gli altri metalli presenti, in particolari i bronzi.

ID linea getto	LIVELLO	Linea Getto	uscite	diramazioni per uscita	ugelli	zampilli
1	L2_Castellum	Delfino	4	2	8	8
2	L2_Castellum	Leone	4	0	4	8
3	L2_Castellum	Sirena	4	2	8	40
4	L2_Castellum	Cartiglio con mascherone	4	0	4	4
5	L3_Castellum	Putti con delfini	4	0	4	4
6	L3_Castellum	Venti	4	0	4	4
7	L4_Statua Nettuno	Delfino Nettuno	1	1	2	2
			25		34	70

Tabella 7:
Schema idraulico degli ugelli e zampilli della Fontana

3.2 Telecontrollo e monitoraggio

Relativamente al sistema idraulico di alimentazione della Fontana le principali parti da controllare sono:

- l'inverter che comanda la pompa;
- le valvole che regolano il flusso delle mandate ai vari ugelli

L'inserimento dell'inverter si rende necessario garantire una pressione costante a valle della pompa al variare delle linee di ugelli attivi, ciò favorisce un funzionamento uniforme degli ugelli ed un consumo minimo di energia della pompa stessa. L'inverter della pompa può essere guidato dal valore della pressione, la quale si alzerà in concomitanza con la chiusura di una linea di getto o si abbasserà in caso di perdite idriche nella condotta di mandata.

Dovrà essere presente anche un sistema di monitoraggio al fine di verificare il buon funzionamento degli ugelli e quindi intervenire tempestivamente in caso di problemi.

Per il funzionamento automatico della Fontana del Nettuno un parametro di interesse è il vento, che se superiore ad una certa soglia, dovrebbe portare alla chiusura dei getti più alti così da evitare spruzzi all'esterno della Fontana, con possibile formazione di ghiaccio nei periodi invernali. Il metodo di telecontrollo più affidabile è quello di usare un PLC azionato da remoto: in particolare, occorrerà installare nelle pertinenze della Fontana un anemometro che possa essere letto dal PLC e quindi gli permetta di rilevare la presenza di vento. Le uscite digitali del PLC possono direttamente comandare le valvole, mentre un'uscita analogica può controllare la potenza in uscita dall'inverter. Tale sistema è preferibile a sistemi senza fili, in quanto le comunicazioni radio potrebbero essere sottoposte a disturbi e comunque meno affidabili.

Per il monitoraggio si possono utilizzare soluzioni già disponibili sul mercato per le misure in remoto di impianti idraulici in pressione. In particolare si può installare un sensore di pressione a valle delle valvole riduttrici di pressione su ciascuna linea, così da tenere monitorata la pressione in ciascun gruppo di ugelli. Il sistema di controllo integrerà tutte queste informazioni per verificare eventuali anomalie ed avvisare una centrale con un allarme.

4. LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E TRATTAMENTO DELLE ACQUE

Nel seguito vengono descritte le prime indicazioni sugli effetti incrostanti o aggressivi su condotti, materiali lapidei e manufatti metallici del monumento procurati dalle acque di ricircolo e reintegro. Sono inoltre fornite indicazioni per la realizzazione di un nuovo impianto di condizionamento e trattamento delle acque. I contenuti del presente documento devono essere considerati congiuntamente a quanto contenuto nelle altre relazioni già disponibili e inerenti l'Attività 3 - Qualità delle acque.

4.1 Prime indicazioni sugli effetti incrostanti o aggressivi su condotti, materiali lapidei e manufatti metallici del monumento procurati dalle acque di ricircolo e reintegro

4.1.1 Aggressività

Le prime indicazioni sugli effetti incrostanti o aggressivi su condotti, materiali lapidei e manufatti metallici del monumento procurati dalle acque di ricircolo e reintegro derivano da uno scenario di funzionamento tipicamente invernale caratterizzato da cinetiche chimico biologiche limitate da condizioni di temperatura ed irraggiamento medio bassi. Tuttavia già in questa fase, in attesa di poter effettuare ulteriori necessari campionamenti in condizioni climatiche differenti è possibile trarre alcune indicazioni utili a definire le linee progettuali del sistema di trattamento che si rende necessario per le acque della Fontana.

Il contenuto di ioni calcio porterebbe a classificare l'acqua di rete come "moderatamente dura". L'acqua di ricircolo nella fontana, pur rimanendo nella stessa classe di durezza, presenta però un contenuto di ioni calcio più elevato. In parte ciò potrebbe essere attribuito all'evaporazione dell'acqua durante il tempo di scorrimento sul monumento e di permanenza all'interno delle vasca della fontana, tuttavia pare ragionevole temere anche che sia in atto una non trascurabile solubilizzazione di ioni calcio provenienti dai materiali calcarei della fontana stessa (marmi, malte etc.). Il valore della durezza calcolata colloca peraltro le acque di rete nella fascia tipica delle acque dolci, mentre il limite superiore di tale intervallo (15 °f) viene superato, con ingresso nella fascia di acque "dure", in tutte le sezioni di campionamento del ricircolo (mandata, ritorno, vasca della fontana) e ciò confermerebbe la dinamica di arricchimento in calcio a causa del processo di solubilizzazione per contatto fluido-materiali. Il contenuto di nitrati e solfati nella fontana si mantiene nel circuito simile a quello dell'acqua di rete, mentre il contenuto di cloruri risulta notevolmente più elevato. Ciò può essere ricondotto con ragionevole certezza al tipo di agente disinfettante in uso.

L'indice di Langelier (o di saturazione) per l'acqua di rete utilizzata per il reintegro dell'acqua con riferimento al valore di pH 7,91 misurato, indica che per temperature dell'acqua al di sopra dei 16 °C, si ha precipitazione di calcare con effetti incrostanti, mentre al di sotto si attiva il processo di solubilizzazione del calcare con relativo effetto aggressivo su materiali lapidei e malte. Nel complesso viene rappresentata una condizione di medio rischio per i materiali calcarei.

Nelle more della disponibilità di dati tipici di scenari climatici tardo primaverili/estivi, si è effettuato anche il calcolo dell'indice di saturazione a pH = 7,5 (media dei dati ufficiali dei valori di pH dell'acqua di rete di Bologna). A tale pH l'indice si mantiene sempre a valori inferiori allo zero e sembra confermare quanto ipotizzato in prima analisi dei dati sullo ione calcio e cioè che vi sia una certa solubilizzazione in atto.

Un riscontro ottenuto operando secondo la normativa italiana, e cioè attraverso la determinazione dell'indice di aggressività che risulta costantemente attestarsi al di sotto del 12 anche a valori di pH pari a 7,91, pare confermare una certa condizione di rischio.

4.1.2 Corrosività

Un'acqua si dice corrosiva quando, in presenza o assenza di ossigeno, attacca i materiali metallici grazie alla presenza di elettroliti forti in essa solubilizzati. I cloruri, e in misura minore i solfati, sono le specie anioniche più aggressive. Nel caso di studio sarebbero interessati i tratti in acciaio dei condotti esistenti, i fregi e le figure in bronzo.

I valori dell'indice di corrosività di Larson e Skold, calcolato con i dati d'analisi, si mantengono superiori a 0,4 cioè si collocano al di sopra del valore al di sotto del quale possono essere esclusi del tutto effetti corrosivi sui metalli. Non risulta però superata la soglia di 0,6 al di sopra della quale l'effetto corrosivo è da ritenersi in atto in maniera importante. L'indice di Leroy, basato sul tenore di cloruri e solfati presenti, risulta invece costantemente e nettamente superiore all'unità, nonostante si sia assunto come riferimento la concentrazione di cloruri rilevata nell'acqua di rete (25 mg/l) e non quella misurata nell'acqua di ricircolo caricata dall'agente disinfettante (oltre 90 mg/l). Pertanto anche tale indice conferma un rischio di corrosione per le parti metalliche della fontana.

4.1.3 Parametri microbiologici e disinfettante residuo

La ricerca dei microrganismi presumibilmente presenti nell'acqua, è una fase fondamentale nello studio della qualità di un'acqua, non solo per esprimere un giudizio di tipo igienico-sanitario, ma anche a sostegno della progettazione di un impianto di distribuzione dell'acqua stessa. La ricerca di microrganismi indicatori e/o patogeni (carica batterica totale eterotrofa e mesofila a 36 °C e 22 °C), *P. aeruginosa*, *E. coli*, *St. aureus*, Enterococchi) risulta quindi il primo step per poter realizzare un impianto che distribuisca un'acqua di qualità, che mantenga le proprie caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche nel tempo e che risulti non "dannosa".

Le indagini condotte a livello della Fontana del Nettuno (campionamento in punti di prelievo a livello del vano tecnico e nella fontana), mostrano una buona qualità dell'acqua, in quanto risultano assenti i principali microorganismi indicatori di patogenicità, secondo quanto previsto dal Dlgs 31/2001; risulta però importante sottolineare come il sistema di reintegro dell'acqua e di conseguenza l'acqua in vasca, a contatto quindi con i marmi e i bronzi, presenta una concentrazione di cloro mediamente intorno a 1,323 mg/l (cloro libero). Tali concentrazioni di cloro da ricondursi all'utilizzo di pastiglie di acido tricloroisocianurico, determinano nell'acqua del sistema idrico un accumulo di cloro che se da una parte assicura all'acqua una buona qualità, dall'altra parte determina un effetto di ingiallimento e di corrosione a livello delle componenti della fontana. A tali considerazioni va associato il concetto di salvaguardia della salute pubblica: pur trattandosi di acqua di una fontana, quindi non necessariamente ad uso potabile, la presenza di concentrazioni così elevate di cloro potrebbe compromettere la salute dei visitatori che potrebbero subire forti irritazioni della pelle, delle mucose e congiuntive mediante un contatto accidentale o volontario con l'acqua stessa.

I sopralluoghi effettuati nel vano tecnico, la valutazione del sistema attuale di trattamento dell'acqua (condizioni dell'addolcitore, vasca di accumulo/reintegro, tubature aperte, scelta di un sistema manuale di disinfezione), fanno necessariamente presupporre un rifacimento completo dell'impianto di distribuzione dell'acqua mediante un sistema "chiuso" e "protetto" di tubazione e accumulo/reintegro, oltre che un sistema di disinfezione alternativo meno invasivo per le componenti della fontana.

**4.2 Prime
indicazioni
progettuali per la
realizzazione di un
nuovo impianto di
condizionamento
e trattamento delle
acque**

Considerati i seguenti aspetti:

- I dati di durezza rilevati non sembrano evidenziare, al momento del campionamento, particolari necessità di addolcimento, esiste attualmente una fase d'impianto a questo destinata per l'acqua in mandata, con scarsa attività e manutenzione, associato ad un sistema di trattamento di disinfezione "manuale", mediante pastiglioni di acido tricloro isocianurico all'interno della vasca di accumulo a scopo disinfettante seguita da una filtrazione a maglia molto grossolana;
- La vetustà di apparati e sistemi controllo e la modalità discontinua di somministrazione "chemicals" attualmente in essere rendono fin d'ora evidente la necessità di un completo rifacimento dell'impianto;
- La permanenza di condizioni di equilibrio continue fra effetti aggressivo/incrostanti sui materiali lapidei ed il controllo degli effetti corrosivi richiederanno l'adozione di sistemi automatici di dosaggio reagenti e rilevamento di qualità dell'acqua sia in reintegro che in ricircolo. Si rende necessario anche un sistema di registrazione in continuo e trasmissione almeno trimestrale al Comune dei dati di qualità rilevati in esercizio;
- Stante la possibilità di contatto fra acque della fontana e visitatori, nonché l'immissione durante la permanenza in fontana di deiezioni da parte di volatili, l'adozione di una fase di disinfezione affidabile in termini di continuità ed efficienza sarà sicuramente necessaria.

Andrà tuttavia considerata la possibilità di adottare tecniche a basso impatto chimico sul monumento completamente automatizzate ed autoregolanti. Occorre infatti disporre di opzioni di disinfezione dell'acqua diverse da quella chimica attuale, in quanto la presenza di cloruri innesca la formazione di prodotti corrosivi di varia natura sulle leghe di rame; tali prodotti, se confermati dalle indagini diagnostiche che verranno condotte sulle patine esistenti, recano forte nocimento alla conservazione dei manufatti metallici della fontana;

possono prevedersi fin d'ora come necessarie:

- una fase di filtrazione fine (maglia 0,5-1 mm) delle acque di ricircolo finalizzata a garantire la regolarità di funzionamento dell'impianto di condizionamento;
- una fase di microfiltrazione (in grado di trattenere particelle da 10 a 0,05 μm) necessaria a garantire rendimenti adeguati e continui alle fasi di disinfezione;
- una fase di disinfezione tramite tecniche di irraggiamento UV (lampade UV automatizzate a lunghezza d'onda pari a 240 - 280 nm);
- l'utilizzo di sostanze ossidanti a base di cloro o principi attivi alternativi, in grado di contenere un carico inquinante di tipo organico e inorganico, dovrà essere previsto solo in casi di contaminazione accidentale e/o volontaria a livello della vasca. Le modalità e le tempistiche potranno essere pianificate previa verifica delle modifiche subite dall'acqua per quanto concerne la sua "qualità".

Per la definizione progettuale definitiva dello schema di trattamento occorre attendere:

1. il completamento dei monitoraggi di qualità previsti per la stagione tardo primaverile/estiva;
2. la definizione precisa delle modalità di fruizione della fontana/monumento da parte dei visitatori con l'indicazione di eventuali sistemi di protezione;
3. il completamento del progetto del nuovo sistema di alimentazione ugelli nonché le specifiche gestionali di previsione dell'andamento stagionale del reintegro e dell'intervallo di oscillazione delle portate di ricircolo, dei tempi di residenza in fontana, di quelli all'interno della mandata in pressione, della vasca di accumulo e della condotta di ritorno per caduta;
4. la conoscenza dei processi di degrado in essere nei materiali lapidei e nelle leghe metalliche della fontana, così come identificati dalle indagini diagnostiche non distruttive e micro-distruttive che verranno effettuate sui prodotti di alterazione dei materiali stessi.

Prof. Maurizio Mancini
Dott.ssa Sandra Cristino
Ing. Elisa Franzoni
Prof. Giovanni Naldi
Ing. Cristiana Bragalli

BIBLIOGRAFIA

Angiolini M.F. (1725) *Pianta delle grotte dove sono le sorgenti dell'Acque nell'Orto dei RR Monaci Olivetani di S.Michele in Bosco.... Pianta et Andam.to dell'Acquedotto di dette Acque*, Assunteria di Confini ed Acque, mappe, vol. 1, s. o. 6.(Archivio di Stato di Bologna)

Angiolini, M.F. 1725, *Profilo della Livellazione fatta per mostrare la Caduta delle Acque sorgenti, che sono nell'Orto de RR. Monaci Olivetani di S.Michele in Bosco*, Assunteria di Confini ed Acque, mappe, vol. 1, s. o. 23. .(Archivio di Stato di Bologna)

Chiarini, M. 1763, *Piante con i suoi Alzati, Profili, e notizie delle origini delle acque, che servono al Pubblico Fonte della Piazza maggiore della città di Bologna con altri annessi, che spettano alla medesima, opera postuma di Marcantonio Chiarini Bolognese Pittore, Architetto e Accademico Clementino, Bologna*. (Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio di Bologna).

Coccolini, G. 1983, *L'acquedotto romano di Bologna*.

Cupioli A. (2003) Ricostruzione storica e modellazione numerica degli aspetti idraulici del sistema di alimentazione della Fontana del Nettuno in Bologna – Tesi di laurea in Ingegneria Civile dell'Università di Bologna.

Fondo Gozzadini, Manoscritti, Gozz.n. 62. *Rellatione data dal Sig. Thomaso Lauri (recte Laureti) Siciliano pittore et Architetto della Fonte su la Piazza di Bologna et i suoi condotti al Ill.mo et R.mo Cardinale Filippo Guastavillani bolognese a perpetua istrutione per conservarla*. (Biblioteca Comunale dell'Archiginnasio di Bologna).

Fondo Gozzadini, Manoscritti, Gozz. n. 180, 7 (c. 23), *Istruzione del Laureti agli Ill.mi SS. Quaranta del Reggimento. Copia del sec. XVI colla pianta del Serbatoio*. (B.C.A.Bo)

Marcolin M. 2000, 'La riattivazione dell'acquedotto romano ad opera di Antonio Zannoni: il dibattito cittadino ed il ruolo dell'Amministrazione C Comunale (1860-1890)', in *Acquedotto 2000, Bologna, l'acqua del duemila ha duemila anni*.

Zanotti, A. 2000, *Il sistema delle acque di Bologna dal XIII al XIX secolo*, Bologna.