



PROGETTO DI RESTAURO
DEL COMPLESSO MONUMENTALE
DELLA FONTANA DEL NETTUNO

**Impianto idraulico e sistema di ricircolo
Integrazione alla prima relazione**

Relazione a cura di:
Prof. Giovanni Naldi
Ing. Cristiana Bragalli

Bologna, 10/08/2016



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

INDICE

Premessa

1. Tratto finale dell'impianto idraulico di alimentazione degli ugelli
2. Sistema delle Vasche poste sui lati del Castellum
3. Sistema Delfini Putti – Conchiglie poste sugli angoli del Castellum
4. Aspetti storici emersi nel corso delle indagini

Osservazioni e indicazioni utili ai fini della progettazione dell'impianto idraulico

PRINCIPALI ASPETTI EMERSI DALL'APPROFONDIMENTO DELLE INDAGINI EFFETTUATE NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO IDRAULICO

Premessa

Il restauro della Fontana del Nettuno prevede di intervenire anche sull'impianto idraulico in modo da far tendere il disegno dei getti verso l'originale gioco d'acqua degli zampilli, così come appare dalle stampe storiche. La progettazione dell'impianto idraulico, relativamente alla parte più prossima al Castellum ed alla Fontana stessa, risente necessariamente delle modalità adottate per il restauro delle parti in bronzo. Infatti, preso atto che i lavori verranno effettuati senza rimozione delle statue, occorre procedere con la progettazione considerando che non si avrà la completa accessibilità all'impianto idraulico esistente. Ciò ha reso necessarie ulteriori indagini, che sono state realizzate in collaborazione con il Comune di Bologna e con ISCR. La finalità è quella di approfondire lo stato di conservazione e la funzionalità dell'impianto idraulico nell'ultima parte che alimenta gli ugelli, ovvero dei tratti di piombo che attraversano il Castellum ed emergono esternamente fino agli ugelli stessi, e dei getti (sfiori) dalle vasche e dalle conchiglie.

Rimane inalterato il progetto iniziale per la parte che prevede la completa sostituzione del sistema di alimentazione, trattamento delle acque e ricircolo dell'impianto idraulico.

Si riportano di seguito i risultati delle prime indagini effettuate. La classificazione utilizzata è quella di Figura 1.

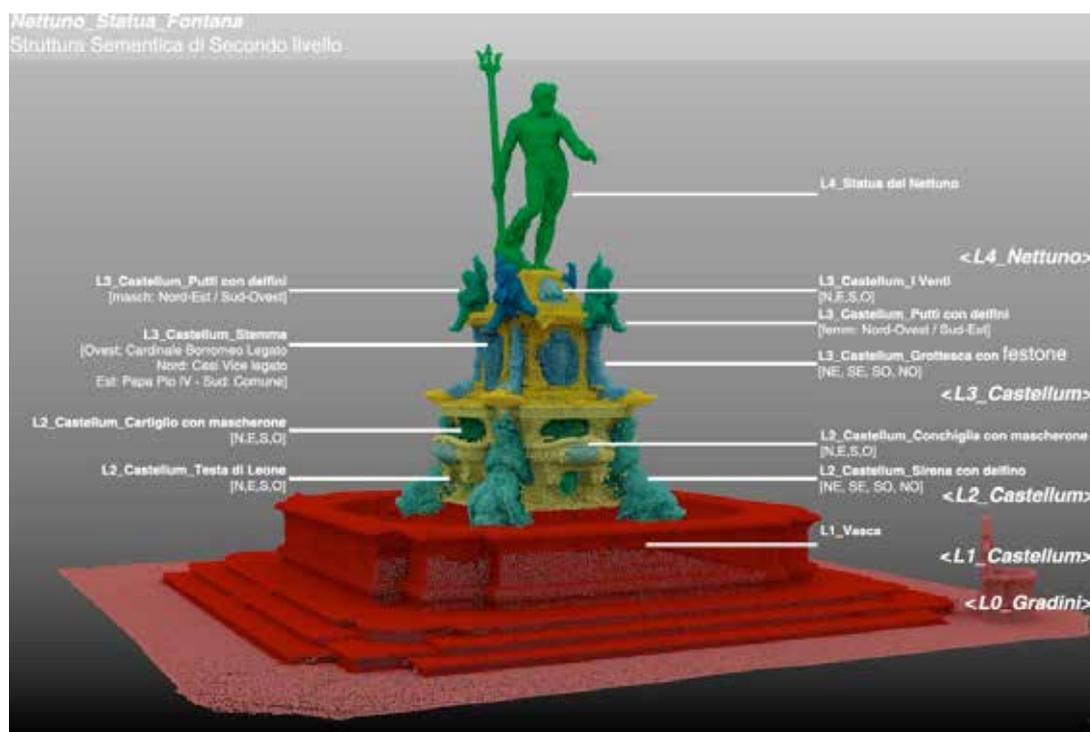


Figura 1:
Classificazione degli ugelli

1. TRATTO FINALE DELL'IMPIANTO IDRAULICO DI ALIMENTAZIONE DEGLI UGELLI

L'ultimo tratto dell'impianto idraulico è costituito da tubazioni che sembrano essere tutte in piombo, le quali attraversano il Castellum per emergere all'esterno ed inserirsi all'interno delle statue di bronzo per alimentare infine i relativi ugelli. In alcune parti, come in corrispondenza dei putti, la tubazione è visibile e sembra essere in buono stato; in altre parti, come per le sirene e i delfini, la tubazione non è visibile.

La modalità di restauro senza rimozione delle statue richiede un'attenta verifica dello stato di conservazione di questi tratti di tubazioni, in modo da evidenziare l'eventuale presenza di degrado, fessurazioni o parziali occlusioni.

L'indagine eseguita in collaborazione con il Comune di Bologna (referenti Arch. Manuela Faustini, Ing. Vincenzo Daprile) ha consentito di approfondire la conoscenza del punto di passaggio delle tubazioni in piombo attraverso il Castellum (Figura 2).

Tutte le tubazioni dell'impianto idraulico che attraversano il Castellum per alimentare i mascheroni delle quattro vasche non risultano murati, visto che da un'analisi visiva si vede la luce esterna.

Il passaggio attraverso la muratura del basamento appare realizzato con tubi in mattone (cotto) di diametro di circa 50 mm, all'interno del quale passa la tubazione in piombo.

2. SISTEMA DELLE VASCHE POSTE SUI LATI DEL CASTELLUM

Per l'approfondimento delle indagini sul sistema composto dal Cartiglio con mascherone – Vasca – Conchiglia con mascherone, è stata eseguita un'apposita prova sulla vasca EST (ovvero la vasca posta di fronte al Palazzo Re Enzo).

La verifica nella parte interna al Castellum non ha evidenziato la presenza di fessurazioni ovvero il tratto in piombo fino al collegamento con l'ugello risulta integro.

La prova è stata effettuata alimentando direttamente l'ugello dalla rete di acquedotto, con l'inserimento di un riduttore di pressione. La portata massima dell'ugello Cartiglio con Mascherone, tale da poter essere adeguata alla capacità di sfioro dello zampillo Conchiglia

con Mascherone ed ottenere quindi un sistema in equilibrio (senza tracimazione laterale dai marmi), è risultata pari a 0.018 l/s, in line con le misure effettuate nel 2003.

La portata relativa allo zampillo Conchiglia con mascherone è risultata pari a 0.14 l/s, compatibile con i trafileamenti di acqua dalla vasca che si sono presentate, partendo invece da una situazione completamente asciutta.

L'efficacia estetica del getto relativo agli ugelli interessati è limitata, per cui se confermata l'ipotesi descritta nel paragrafo 1.5, potrebbe essere valutato un ripensamento nel funzionamento idraulico del sistema composto dal Cartiglio con mascherone – Vasca – Conchiglia con mascherone.

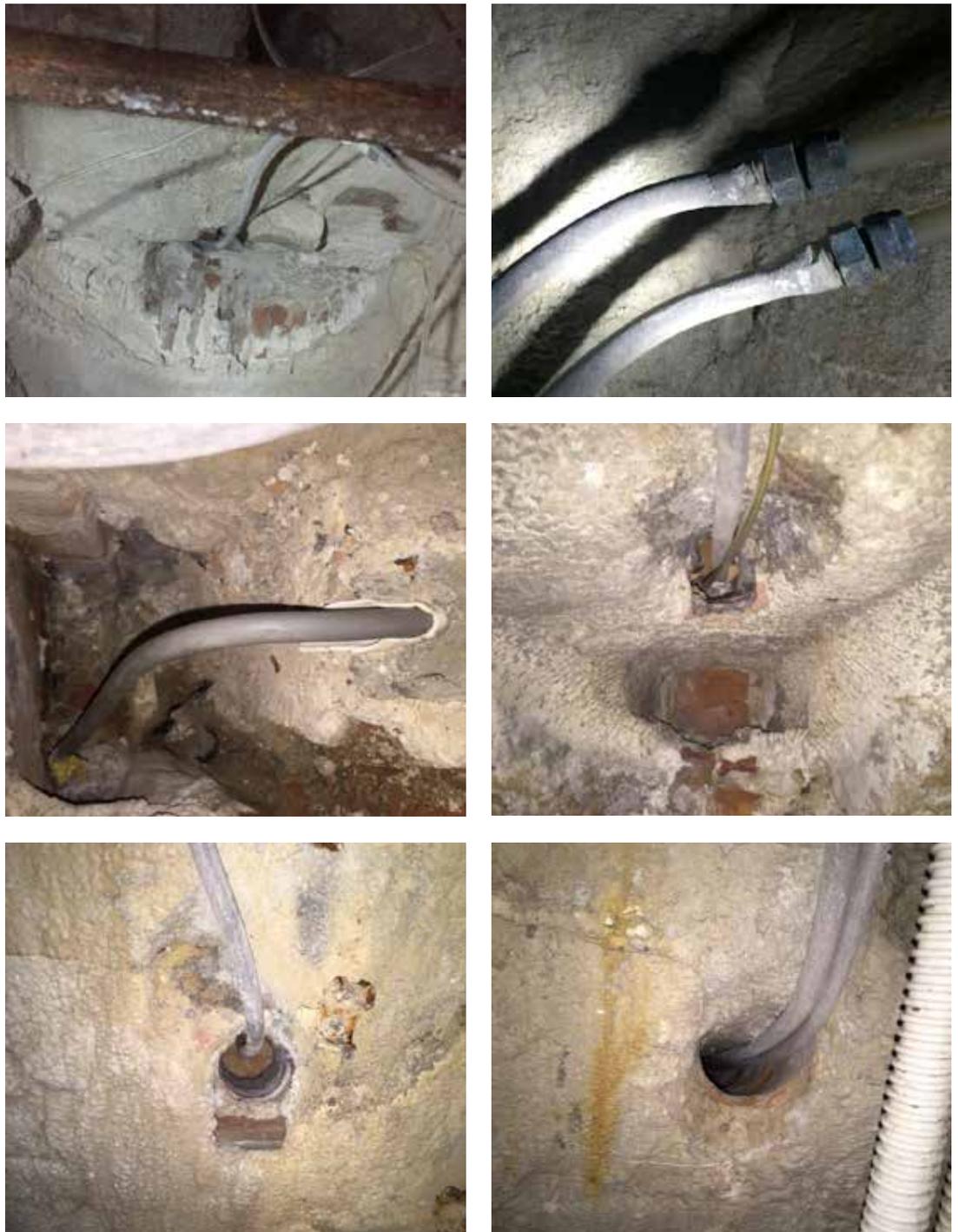


Figura 2: Particolari dell'attraversamento della muratura del Castellum delle tubazioni in piombo che costituiscono l'ultimo tratto dell'attuale impianto idraulico

3. SISTEMA DELFINI PUTTI - CONCHIGLIE POSTE SUGLI ANGOLI DEL CASTELLUM

Per verificare l'attuale condizione di sfioro laterale dalle Conchiglie del Livello L3_Castellum (Figura 3) sono state effettuate delle prove con un'alimentazione esterna, indipendente dal sistema idraulico della Fontana del Nettuno. Le Figura 4, 5, 6 e 7 mostra i dettagli delle Conchiglie SE, SO, NE e NO rispettivamente.

Le prove hanno il duplice significato di:

- verificare la portata dei Delfini dei Putti del Livello L3_Castellum in modo che lo sfioro laterale dalle conchiglie avvenga con la massima portata consentita, così da allontanare il getto dalle statue di bronzo e sia regolare, simmetrico sui due lati ed esteticamente apprezzabile;
- evidenziare irregolarità nella forma dei beccucci e nel posizionamento delle conchiglie.

La portata di alimentazione delle conchiglie, Portata totale (l/s) di Tabella 1, è quindi la massima consentita nella situazione attuale, quella cioè al limite dell'interferenza con i marmi nel punto di sfioro; la portata totale risulta abbastanza stabile e si attesta su un valore medio pari a 0.11 l/s, in linea con quanto ipotizzato nel progetto per l'ugello del Delfino dei Putti, pari a 0.08 l/s.

Le Conchiglie NO e SO risultano molto asimmetriche nelle portate sfiorate dai beccucci (Tabella 1), tutte le conchiglie presentano una asimmetria nella forma del getto, che appare su un lato irregolare.

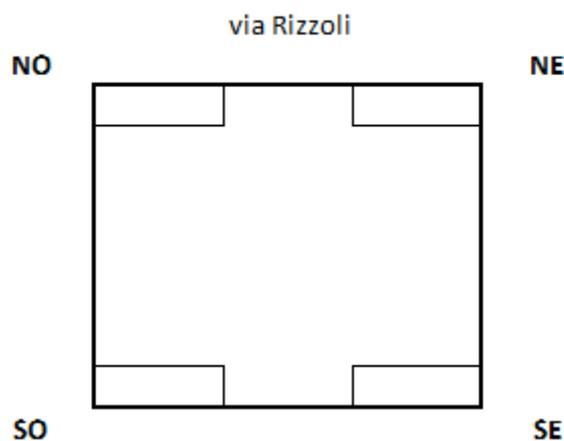


Figura 3:
Orientamento
Conchiglie del Livello
3_Castellum

Tabella 1: Prove effettuate sulle Conchiglie del Livello 3_Castellum

Conchiglia	Portata beccuccio sx (l/s)	Portata beccuccio dx (l/s)	Portata totale (l/s)	Note
SE	0.052	0.059	0.110	
NE	0.043	0.044	0.086	
NO	0.087	0.021	0.107	portate molto differenti sui due sfiori
SO	0.035	0.122	0.157	portate molto differenti sui due sfiori

Per provare a regolarizzare lo sfioro è stata eseguita un'ulteriore prova sulla Conchiglia SO, andando a modificare il beccuccio destro; i risultati della prova sono mostrati in Tabella 2.

Tabella 2: Prove effettuate sulle Conchiglie del Livello 3_Castellum

Conchiglia	Portata beccuccio sx (l/s)	Portata beccuccio dx (l/s)	Portata totale (l/s)	Note
SO	0.035 (22 %)	0.122 (78 %)	0.157	portate molto differenti sui due sfiori
SO beccuccio dx modificato	0.047 (44 %)	0.061 (56 %)	0.108	portate simili con modifica beccuccio dx

Infine, dal confronto di questi valori con quelli misurati nel 2003 (Tabella 2), si vede che questi ultimi sono molto inferiori, tali da confermare una traiettoria di caduta sostanzialmente verticale e quindi con interessamento delle statue sottostanti.

Tabella 3: Misure effettuate nel 2003 (Copioli, 2003)

LIVELLO	Getto	1. Sottogetti	Origine	Portata (l/s)
L3_Castellum	Putti con delfiniNE	1	misura	0.0185
L3_Castellum	Putti con delfiniSE	1	stima	0.0192
L3_Castellum	Putti con delfiniSO	1	stima	0.0192
L3_Castellum	Putti con delfiniNO	1	misura	0.0199



Figura 4: Particolare
Conchiglia SE posta al
livello L3_Castellum



Figura 5: Particolare Conchiglia SO posta al livello L3_Castellum



Figura 6: Particolare
Conchiglia NE posta al
livello L3_Castellum

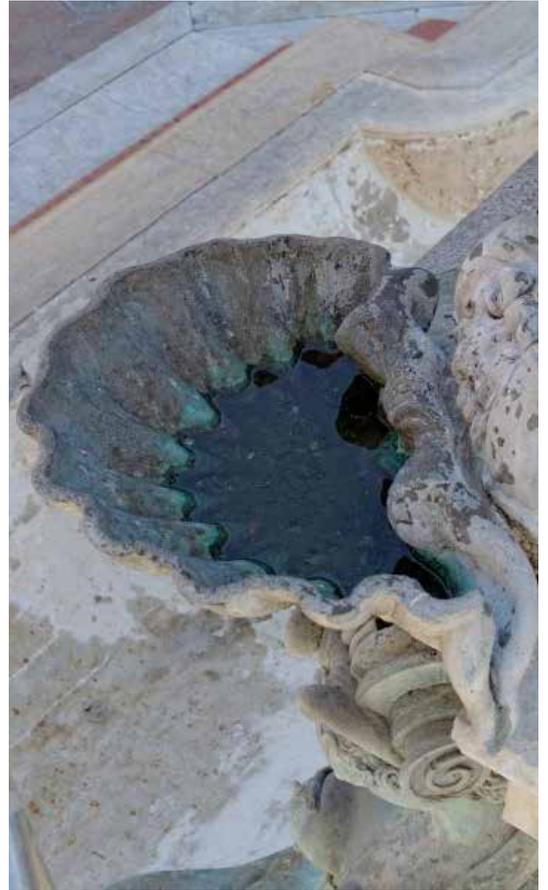


Figura 7: Particolare Conchiglia NO posta al livello L3_Castellum

4. ASPETTI STORICI EMERSI NEL CORSO DELLE INDAGINI

Durante le indagini, svolte in collaborazione con ICRS, è emerso un particolare interessante relativo all'impianto idraulico ed al funzionamento delle vasche poste sui quattro lati (Livello L2_Castellum). Infatti sul fondo di tutte le vasche è presente una stuccatura che lascia intendere la presenza di una traccia; la piccola rimozione, effettuata da ICRS, di una piccola parte già deteriorata nella vasca Sud ha consentito di fare emergere un foro passante.

Un esame attento del tubo relativo allo zampillo del mascherone (L2_Castellum_Conchiglia con mascherone) mostra come questo presenti una forma ricurva internamente alla parete della vasca nell'ultimo tratto; questa forma non è coerente con l'attuale funzionamento del getto che è costituito dallo sfioro della vasca. Queste considerazioni, unitamente al testo del Laureti sotto riportato fanno pensare che nel progetto originale quello che oggi è uno sfioro fosse in realtà un getto alimentato da una tubazione ad esso dedicata posta sul fondo della vasca e che risaliva nell'ultimo tratto.

Questa ipotesi consente di avere una coerenza tra il numero dei getti indicati dal Laureti e quelli realmente esistenti, che fino ad ora non era mai stata verificata. Infatti il Laureti parla di 25 canne che salgono, per dividersi in 38 spinelli, in quanto alcune si dividono in due ovvero "la quattro sirene, li cinque delfini et le quattro maschere".

Considerando infatti 4 sirene, 5 delfini, 4 venti, 4 putti, 4 maschere e 4 leoni arriviamo a 25 tubazioni che salgono; contando inoltre 8 (4x2) spinelli per le sirene, 10 (5x2) spinelli per i delfini e 8 (4x2) per le maschere, si ottengono infine i 38 spinelli.

Un'ulteriore indagine (rimozione delle stuccature nelle trincee sul fondo delle vasche) consentirebbe quindi di verificare se il Cartiglio con mascherone e la Conchiglia con mascherone erano nel sistema originario alimentati da un'unica tubazione che saliva dal cannone biforcandosi nell'ultimo tratto. Per fare questo è necessario rimuovere la stuccatura visibile sul fondo di tutte le vasche. La Figura 8 mostra il dettaglio della vasca Est (lato Palazzo Re Enzo).

Ovviamente questa ipotesi, se confermata, offrirebbe margini di intervento sul sistema idraulico delle vasche coerenti con una lettura storica dell'originale idea e tali da consentire un miglioramento del funzionamento dell'insieme Cartiglio con Mascherone – Vasca – Conchiglia con mascherone che negli ultimi decenni ha funzionato in modo non ottimale, come dimostrano le alterazioni subite dai marmi lateralmente per tracimazione dell'acqua e dallo stato di alterazioni del bronzo delle Conchiglie con mascherone.



Figura 8: Particolari della vasca Est, dove è visibile sul fondo la trincea e getti dal Cartiglio con mascherone e Conchiglia con mascherone

Si riporta per completezza il testo integrale tratto dal Fondo Gozzadini, Manoscritti, 62, Relatione 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. (B.C.A.Bo), il quale spiega come 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, per un totale di 38 spinelli.

“...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 la 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.”

**Osservazioni
e indicazioni
utili ai fini della
progettazione
dell’impianto
idraulico**

- a. Si ritiene opportuno approfondire la verifica dell'ipotesi che il Cartiglio con mascherone e la Conchiglia con mascherone fossero, nel sistema idraulico originario, alimentati da un'unica tubazione che saliva dal cannone descritto dal Laureti per biforcarsi poi nell'ultimo tratto. Questa ipotesi, se confermata, offrirebbe ampi margini di intervento sul sistema delle vasche che negli ultimi decenni ha funzionato in modo non ottimale, come dimostrano le alterazioni subite dai marmi lateralmente per tracimazione dell'acqua e dallo stato di alterazioni del bronzo delle Conchiglie con mascherone.
- b. Si ritiene di dover approfondire la verifica dello stato di conservazione e della funzionalità idraulica dei tratti finali delle tubazioni in piombo, in quanto la modalità di restauro non ne consente la completa sostituzione, ma questa potrebbe comunque non essere necessaria se non vi sono incrostazioni e fessurazioni. Si procederà con prove a secco attraverso endoscopia eseguite dal DICAM e prove con acqua, da concordare con ISCR per evitare intersezioni con le attività di restauro in corso.
- c. Le prove effettuate alle Conchiglie del Livello L3_Castellum mostrano una particolare asimmetria di sfioro per le conchiglie NO e SO, mentre in generale per tutte le conchiglie uno dei getti appare non compatto. Questi aspetti producono un getto esteticamente poco efficace, per cui è da valutare un intervento di minimo impatto. Si ritiene che sarebbe sufficiente rimodellare la sezione finale dei beccucci inerendo all'interno un materiale idoneo opportunamente sagomato. Per agevolare la definizione della parte che si andrebbe ad inserire nel beccuccio e garantire la replicabilità della parte modellata, è possibile utilizzare il modello 3D per una prototipazione rapida.

**Prof. Giovanni Naldi
Ing. Cristiana Bragalli**