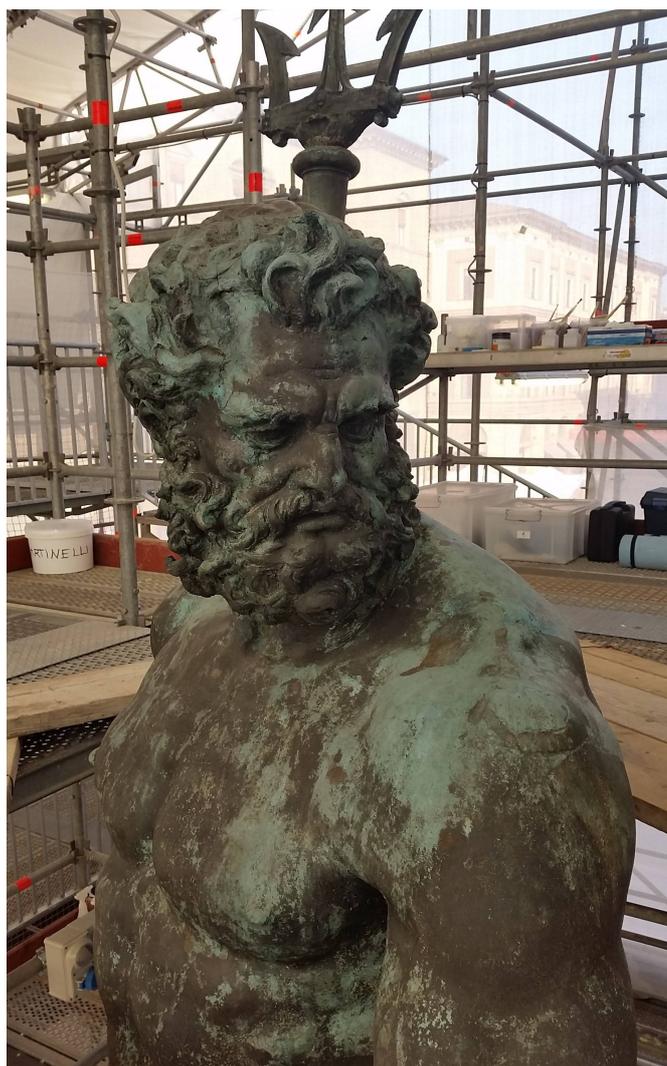


FONTANA DEL NETTUNO: STATO DELL'ARTE E PROGRAMMAZIONE LAVORI

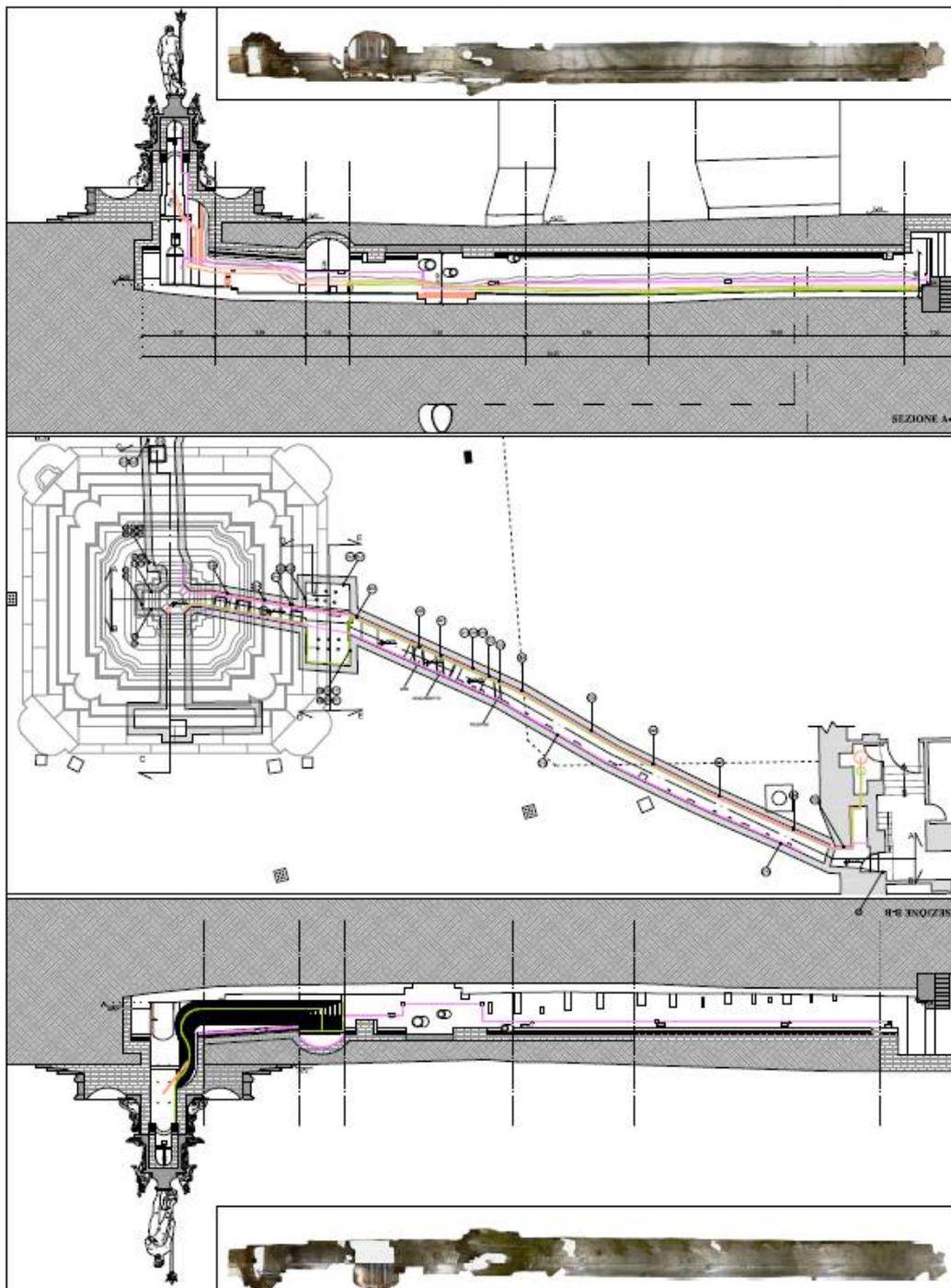


INDAGINI A CURA DI UNIBO

Sono state portate a termine le seguenti indagini e studi:

Rilievi e software

Rilievo tridimensionale sia della parte fuori terra che della parte interrata; quest'ultima molto utile ai fini della progettazione dell'impianto idraulico e della progettazione del consolidamento della statua del Nettuno. L'ISTI CNR ha realizzato il software in 3D per l'inserimento di tutti i dati inerenti la mappatura del degrado eseguita da ISCR e l'immissione di tutte le ricerche svolte dai diversi settori (UNIBO e COBO). Il progetto è stato terminato con anche il trasferimento del sistema informativo da Pisa (sede del CNR.ISTI) a Bologna (Comune). È stata compiuta la ricerca con progettazione del sito web implementato con architettura 2.0 e realizzato il sito web pubblico implementato con il sistema di navigazione in 3D.



Indagini sul sistema idraulico

Sono state eseguite diverse indagini anche tramite endoscopia per individuare lo stato di degrado delle tubazioni che corrono all'interno del castellum, il loro percorso e i materiali che costituiscono il sistema idraulico.

Dalle indagini si è constatato che le tubazioni in piombo sono risultate in buono stato ma con molte incrostazioni all'interno e il passaggio delle tubazioni nella muratura avviene tramite un condotto in terracotta. Gli ugelli dovranno essere tutti sostituiti con nuovi elementi opportunamente trattati, che tramite un filetto in ottone, saranno collegati alla tubazione in piombo. Questa operazione molto delicata dovrà essere eseguita da professionisti con l'assistenza dei restauratori.

Dalla relazione si evincono le pressioni di uscita dei getti d'acqua degli zampilli, il diametro degli ugelli, il numero.

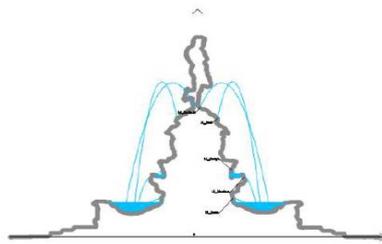


Figura 28 Traiettorie dei getti in progetto nella vista frontale della Fontana del Nettuno

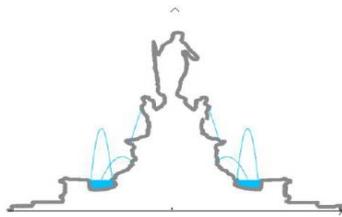


Figura 29 Traiettorie dei getti in progetto nella vista diagonale della Fontana del Nettuno

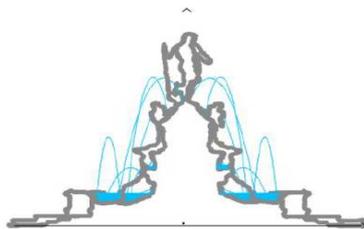
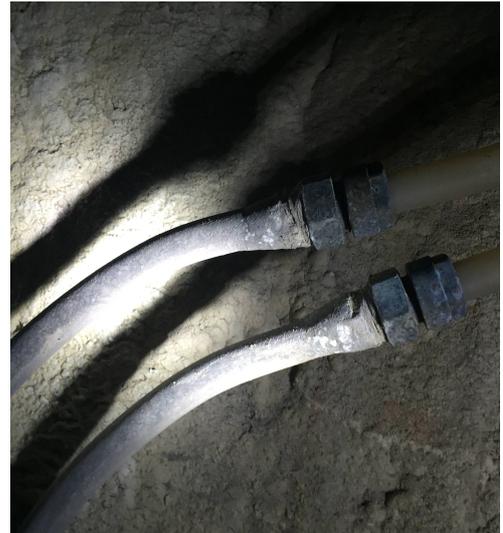


Figura 30 Visualizzazione delle traiettorie dei getti in progetto della Fontana del Nettuno



ID linea getto	LIVELLO	Linea Getto	N. sottogetti	Portata linea getto 2003 (l/s)	% contributo alla portata complessiva 2003	Portata in progetto linea getto (l/s)	% contributo alla portata complessiva 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 mascherone	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 Net	Delfino Nettuno	2	-	-	0.180	7.22
			70	0.966	100.00	2.494	100.00

Indagini chimiche e biologiche

Sono state consegnate le relazioni che riguardano tutte le indagini chimiche eseguite sia sui materiali bronzei che quelli lapidei e le indagini biologiche sull'acqua che alimenta la fontana. Da tali indagini si è giunti alla conclusione che il vecchio sistema idraulico con depurazione dell'acqua tramite cloro, non garantisce il ph dell'acqua neutro e anzi, la presenza di carbonato di calcio provoca un progressivo dilavamento per aggressività sul materiale lapideo e la durezza dell'acqua e ph acido influisce sulla corrosione dei bronzi .

Occorre pertanto montare un nuovo impianto idraulico che funzioni tramite doppi filtri , una disinfezione tramite raggi UV automatizzata e utilizzo di sostanze a base di cloro solo in caso di emergenza. Tale progetto, a cura del Comune di Bologna, è in corso di approvazione.

Le indagini chimiche hanno riscontrato la presenza di patine sui bronzi con fenomeni di corrosione dovuti da prodotti solfati e cloruri di rame dati dal degrado del trattamento protettivo applicato negli anni '90. Si renderà pertanto necessario un trattamento protettivo costituito dal medesimo doppio strato di acrilico e cera microcristallina impiegato nel 1989 al quale, però, dovrà far seguito un programma di manutenzione programmata teso alla verifica periodica della loro efficacia protettiva ed eventualmente alla stesura di nuovi strati sacrificali di cera microcristallina.

Area di campionamento			Composti identificati						
Area	Foto	Descrizione	Atacamite	Brochantite	Quarzo	Calcite	Cera	Incralac	Altri Componenti
1		Nettuno, deltoide Sx fronte	+						Solfati di rame idrati
2		Nettuno, deltoide Sx dietro							Solfati di rame idrati
3		Nettuno, deltoide Dx dietro						+	Solfati di rame idrati
4		Nettuno, schiena					+	+	
5		Nettuno, spalla Dx	+						Solfati di rame idrati

Indagini di carattere strutturale

Dal punto di vista strutturale, sono stati effettuati i rilievi, indagini visive sia esternamente e che all'intradosso del basamento del Gigante, oltre che nei cunicoli. Sono state effettuate le indagini e lo studio delle caratteristiche strutturali del *castellum* e del cunicolo interrato tramite carotaggi e indagini con endoscopio, termocamera e georadar, oltre che diverse prove di laboratorio per la caratterizzazione meccanica dei singoli materiali strutturali componenti l'opera (mattoni e malta di allettamento).

Dai campioni ottenuti tramite i carotaggi sono state effettuate delle prove di compressione in laboratorio da cui si desume che la muratura ha una buona capacità resistente a compressione.

Dopo la rimozione delle stuccature delle lastre in materiale lapideo, per altro molto sporche e con spesse incrostazioni, è emerso che sono presenti diversi distacchi delle stuccature di bordo delle singole lastre di rivestimento, fessurazioni macroscopiche sulle stesse e danneggiamenti nel collegamento fra le parti in bronzo e la parte lapidea. Le staffe di ancoraggio dei putti, ad esempio, appaiono davvero modeste ed esigue, tale da fare porre dei quesiti di ulteriori interventi per migliorare l'attacco.

Dopo le indagini condotte all'interno del Nettuno Diotallevi riporta:

“L'ancoraggio della statua del Nettuno al supporto murario che costituisce l'ossatura della fontana avviene attraverso due tiranti superiormente ancorati alla piastra di base della statua ed inferiormente ancorati a due traverse metalliche vincolate alla parte superiore del corpo della fontana stessa.

L'attacco della statua, che venne sistemato durante la ristrutturazione degli anni ottanta, appare particolarmente delicato per diverse ragioni:

– Lo stato degli ancoraggi metallici in acciaio appaiono molto degradati ed aggrediti dalla ossidazione;

- La posizione dell'attacco del Gigante è collocata nel tronco più alto del corpo della fontana, corpo che ha anche le dimensioni minori in pianta e quindi più suscettibile a risentire degli effetti di eventuali eventi sismici. Si ricorda che le maggiori tensioni verticali di compressione si rilevano proprio allo spicco di questo secondo tronco;

- L'attacco della statua è costituito da soli due ancoraggi, e pertanto nei confronti di azioni orizzontali (quali il sisma) l'attacco non presenta lo stesso livello di sicurezza in tutte le direzioni, ovvero per qualunque direzione di provenienza della forza orizzontale.”

– Non è certo nemmeno se l'ancoraggio delle barre verticali e orizzontali poste per la stabilizzazione della statua siano adeguatamente inseriti nella muratura del tronco più alto del corpo della fontana.

Durante i restauri si è riscontrata inoltre la presenza di distacchi tra i giunti delle lastre, in corrispondenza dello spigolo NE, (lato palazzo Re Enzo), in particolare in corrispondenza della voluta “Cantoniere” e la lastra di appoggio della Conchiglia.

Durante la rimozione delle stuccature si è evidenziato che nell'angolo nord est a livello 2, la cornice in materiale lapideo è disassata e inclinata, con una stuccatura eseguita a strati di resina epossidica e laterizio di larghezza variabile da 3cm a 10cm (dall'esterno verso l'interno). Questa situazione molto critica ci ha costretti a interrompere la lavorazione di rimozione della stuccatura in quell'angolo ponendoci alcuni interrogativi sulla staticità del pilastro in pietra e della cornice medesima.



Dopo molte riflessioni e ulteriori indagini visive si è giunti alla conclusione che è opportuno procedere con un approfondimento conoscitivo strutturale per avere un quadro il più esaustivo possibile.

Ottenuti questi ulteriori dati sarà possibile proporre un adeguato intervento di consolidamento che assicuri la statua alle sollecitazioni orizzontali e allo stesso tempo che garantisca un adeguato ancoraggio degli elementi lapidei alla struttura.

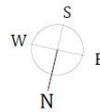
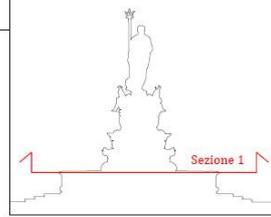
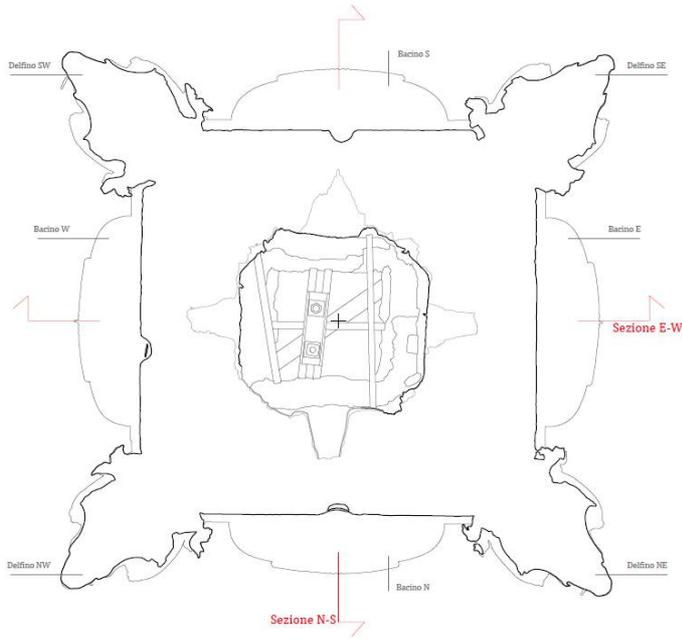
Gli interventi necessari per la sicurezza della statua dovranno tenere conto che il livello di ancoraggio sia il più basso possibile, o comunque distribuito all'intradosso del basamento, compatibilmente all'opera e ai diversi elementi decorativi che la compongono, cercando di garantire l'accesso a un operatore per salire all'interno del *castellum* per eseguire la manutenzione.





Sezione 1 - vista ipografica

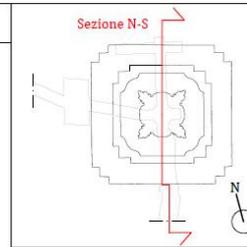
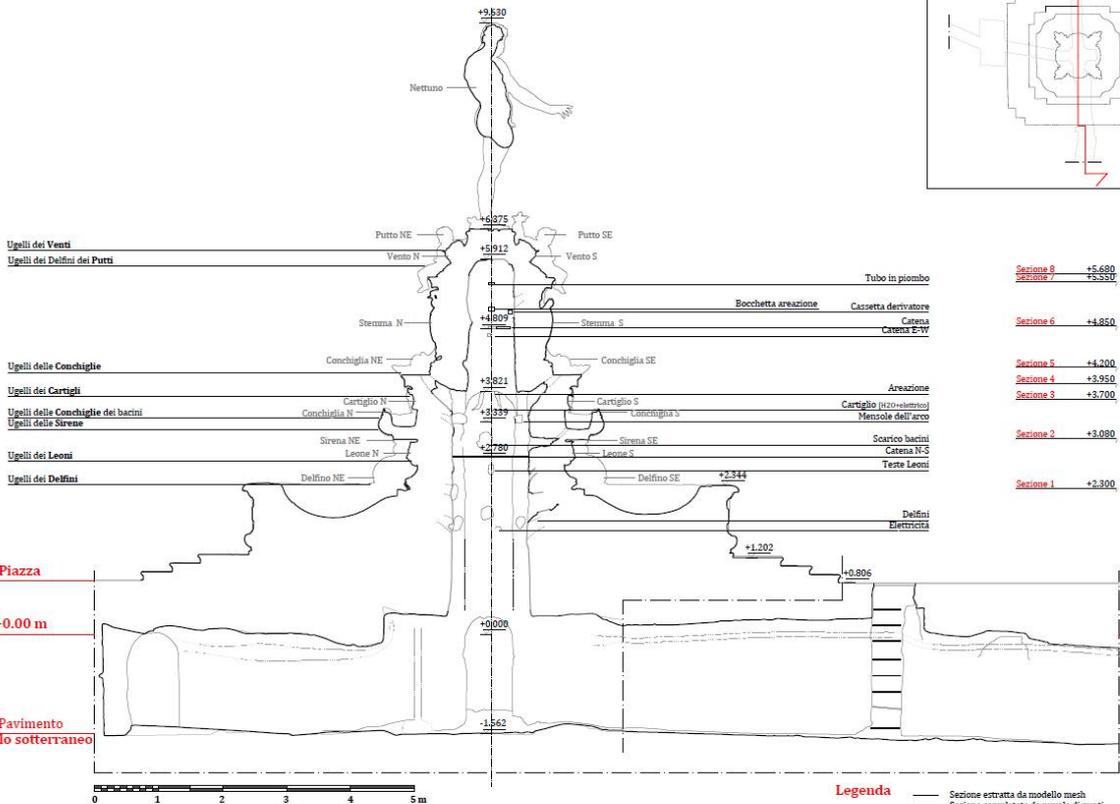
Scala 1:20



Legenda
 - Sezione estratta da modello mesh
 - Sezione completata da nuvola di punti
 - Sezione ipotizzata

Sezione N-S direzione E

Scala 1:50



Livello Piazza

Quota +0.00 m

Livello Pavimento
Cunicolo sotterraneo



Legenda
 - Sezione estratta da modello mesh
 - Sezione completata da nuvola di punti
 - Sezione ipotizzata



LAVORI SVOLTI DA ISCR

Il restauro esterno della fontana è iniziato con una ricca serie di indagini e campionature sui due materiali componenti il monumento e sullo stato di conservazione delle superfici che hanno evidenziato per il Nettuno e le sculture in bronzo un elevato livello di corrodibilità e la estesa presenza di prodotti dannosi (isocianurati di rame e cloruri) e per i materiali lapidei la presenza di trattamenti impiegati nei restauri precedenti con poliestere e resina acrilica. Oltre a questi prodotti di corrosione è presente sui bronzi una patina di incrostazioni di carbonato di calcio in alcuni punti di circa un millimetro di spessore. Questa importante fase ha compreso circa un mese di lavoro.

Le stratigrafie hanno reso noto che la vasca inferiore venne trattata con materiali diversi da quelli impiegati nelle parti lapidee superiori, che con il tempo hanno alterato la cromia del materiale.

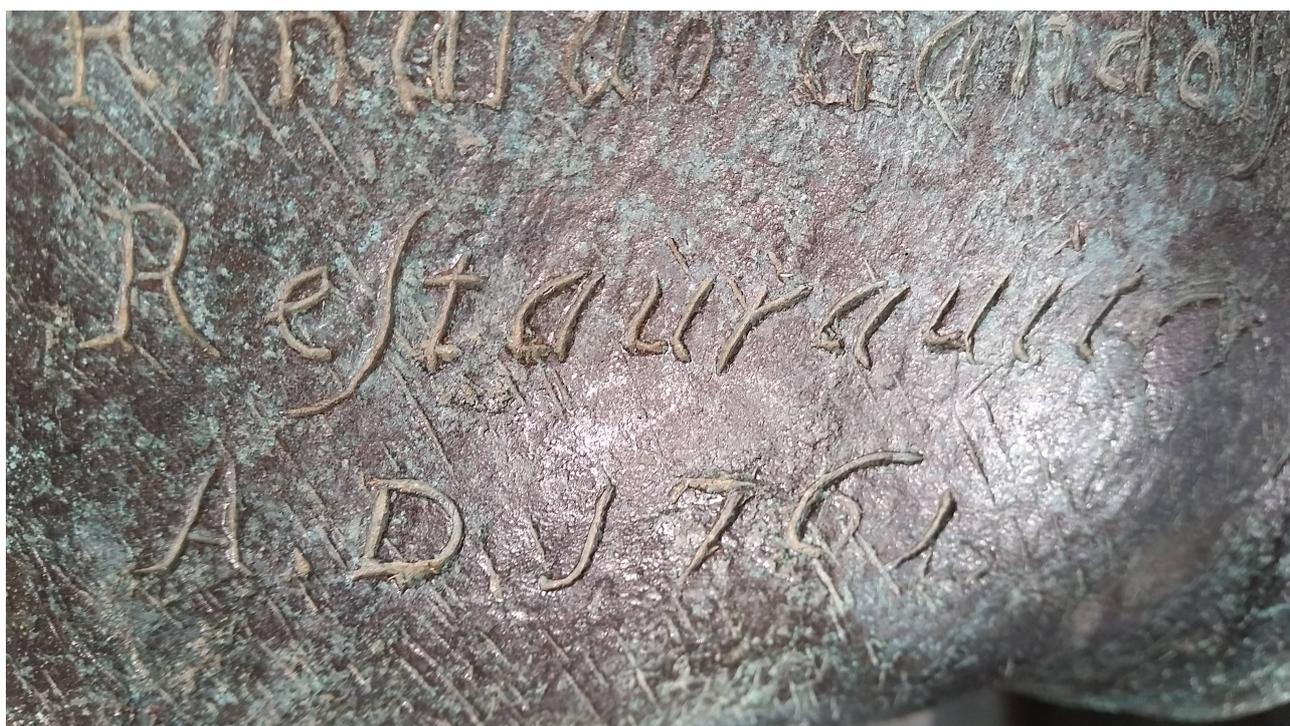
Anche il Nettuno venne trattato con prodotti a base di resine e pigmenti colorati, sicuramente per omogeneizzare l'insieme e per creare una barriera protettiva, che visti gli anni trascorsi ha perso ogni efficienza. Risultano essersi attivati dei processi di corrosione anche al di sotto di queste resine protettive. La rimozione di tale prodotto su tutto il Nettuno è stata piuttosto difficoltosa.

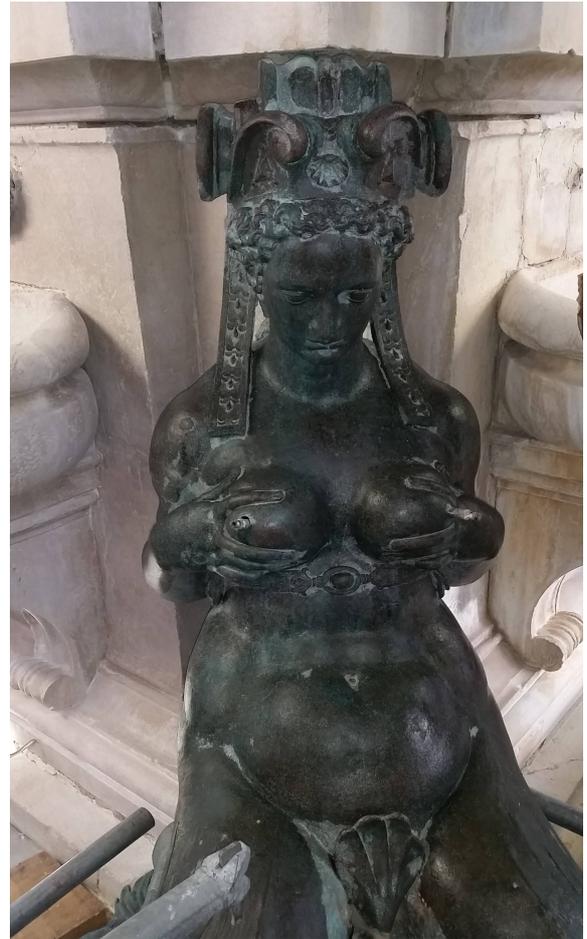
Le fasi delle lavorazioni in generale sono state le seguenti :

- campionature e stratigrafie su tutti i materiali (bronzi, materiali lapidei, malte)
- analisi di laboratorio (biologiche, chimiche e chimico-fisiche) confluite in relazioni.

- rimozione dei depositi incoerenti e del guano
- prima fase di pulitura generale con mezzi meccanici di precisione per rimozione su bronzi e lapidei dello strato di incrostazione calcarea.
- seconda fase di pulitura dei bronzi con lavaggio e rimozione di resine e vernici alterate (non ancora completata nelle sirene e bronzi del livello inferiore)
- seconda fase di pulitura dei materiali lapidei della vasca per la rimozione dei vecchi trattamenti a miscela di acqua di calce e resina acrilica)
- rimozione completa di "copertine" in resina epossidica applicate in interventi precedenti e valutate come dannose in quanto favoriscono l'insediamento di alghe e biodeteriogeni
- rimozione delle stuccature nelle parti lapidee della vasca e del castello (ove sono stati rimossi anche strati di rinzaffi profondi per agevolare l'attività degli strutturisti e degli ingegneri idraulici).
- rimozione di vecchie stuccature sulla vasca e campionature per le nuove stuccature
 - esecuzione (parziale) di nuove stuccature per i materiali lapidei.

La completa rimozione del protettivo e degli strati di trattamento che erano stati impiegati nel passato ha portato alla luce una interessante epigrafe che cita: "Arnaldo Gandolfi restauravit A.D. 1761" confermando la data esatta del restauro del Nettuno nel XVIII secolo.





Prima e dopo la pulitura

Criticità e progetti

In fase esecutiva è stato necessario eseguire continue indagini per capire la composizione materica delle diverse stratificazioni presenti sui due materiali. Sui materiali lapidei sono state rimosse anche parti delle "copertine" presenti sulla mensola del 2° livello, realizzate con resine epossidiche, con notevole impiego di tempo da parte degli operatori. Questo lavoro è stato molto utile per conoscere i materiali impiegati precedentemente e per avere una maggiore conoscenza degli ancoraggi delle parti in bronzo con le lastre in materiale lapideo.

Le operazioni di stuccatura, che dovranno essere eseguite solo dopo aver terminato le indagini di carattere strutturale e l'intervento di consolidamento, possono essere fatte solo con temperature superiori ai 5°, pertanto non è possibile proseguire con questo tipo di attività nel periodo invernale.

In questa fase di interruzione dei lavori di restauro si procederà con l'approfondimento delle indagini, con il montaggio dell'impianto di adduzione dell'acqua (già approvato dall'amministrazione e a breve uscirà il bando di gara) nel cunicolo interrato, con il consolidamento dei cunicoli e con il perfezionamento del progetto di consolidamento.

Unibo ha già redatto la modellazione di tre soluzioni illuminotecniche che dovranno essere rese esecutive e successivamente appaltate.

In questo periodo verranno perfezionati gli accordi con ISCR per mantenere con l'Istituto un rapporto continuativo di alta Sorveglianza e formazione del personale addetto alla futura manutenzione, che in base al piano da loro redatto, dovrà monitorare una serie di parametri indicatori sullo stato di salute del monumento.

La mappatura (sia del degrado che degli interventi) eseguita durante i lavori sul modello 3D, sarà estremamente utile allo scopo, per fornire dati precisi e punti esatti su cui porre particolari attenzioni.