

PROGETTO DI RESTAURO
DEL COMPLESSO MONUMENTALE
DELLA FONTANA DEL NETTUNO

**Prime considerazioni sulla struttura
portante della fontana del Nettuno
e dei cunicoli di pertinenza .**

Analisi della sicurezza strutturale relativa
al supporto della statua con riferimento alla
parte emergente, alla parte interrata, alle
pareti della vasca, ai cunicoli di accesso e
alla camera di manovra degli impianti idrici
comprehensive di indagini sui materiali.

Relazione a cura di:

Prof. Ing. Pier Paolo Diotallevi

Bologna, 15/04/2016



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

Premessa

Nell'ambito della Convenzione stipulata fra il Comune di Bologna e il Dipartimento DICAM dell'Ateneo di Bologna, uno degli aspetti da sottoporre ad indagine riguarda le condizioni statiche del supporto della statua del Nettuno e dei cunicoli sotterranei di accesso e controllo degli impianti idrici a servizio della fontana.

Dopo una breve descrizione dei luoghi oggetto dell'indagine si riportano i programmi delle prove ritenute utili al fine di descrivere l'organizzazione strutturale del complesso, le prove eseguite e gli esiti ad oggi disponibili delle stesse.

Descrizione delle opere oggetto della attuale indagine

Il complesso della fontana del Nettuno vede una parte emergente costituita dalla vasca, dalle fontane e dal supporto della statua ed una parte interrata costituita da cunicoli e camere dedicati agli impianti di apporto idrico alla fontana e al sostegno della parte emergente dal piano di campagna.

Nello schema di fig. 1 è riportata la vista assonometrica dei vuoti nella parte interrata e nella figura 2 è riportata una sezione verticale mediana della fontana posta in corrispondenza dell'asse E-W.

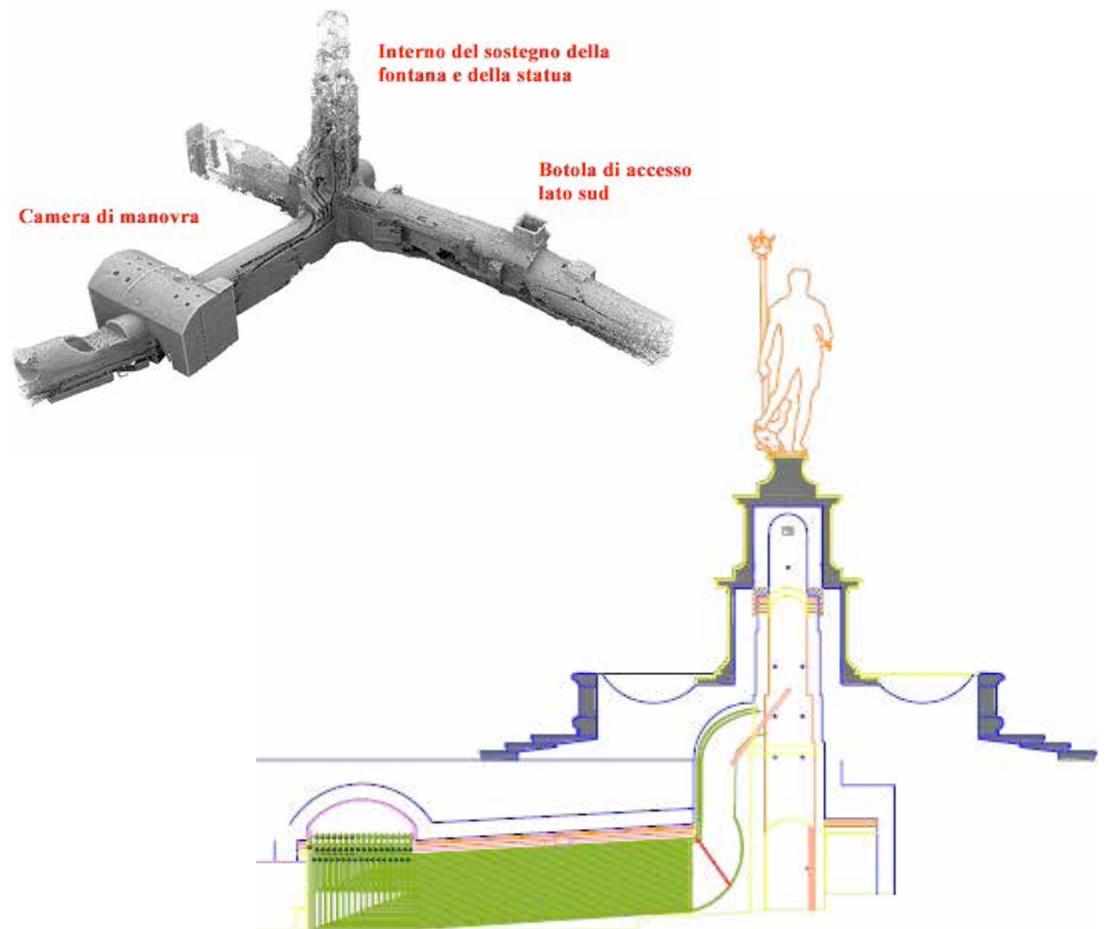


Figura 1

Figura 2

Dalla figura n. 1 si evince che al di sotto del piano stradale la piazza del Nettuno è attraversata da una serie di cunicoli: di essi ci occuperemo solo relativamente a quelle porzioni poste a servizio della fontana ed in particolare della parte del cunicolo compresa fra la fontana ed il Palazzo Comunale, in quanto di accesso agli impianti, della cosiddetta "camera di manovra", contenente attualmente il centro della distribuzione dell'acqua alle diverse parti della fontana, del sostegno della parte emergente della fontana ed infine del breve tratto di cunicolo che dalla fontana si diparte verso sud fino alla botola di accesso dalla Piazza. Le parti interrate proseguono sia verso sud, sia verso nord, ma esse non sono prese in considerazione in quanto non pertinenti la fontana stessa bensì costituiscono cunicoli e gallerie utilizzate in passato per lo stesso scopo ed ora abbandonati.

Nelle figure 3, 4 e 5 sono riportate la sezione media del cunicolo di accesso dall'ingresso posto all'interno del Comune ed il particolare dalla Biblioteca della Sala Borsa, la dimensioni interne della camera di manovra e degli spazi immediatamente sottostanti la fontana.

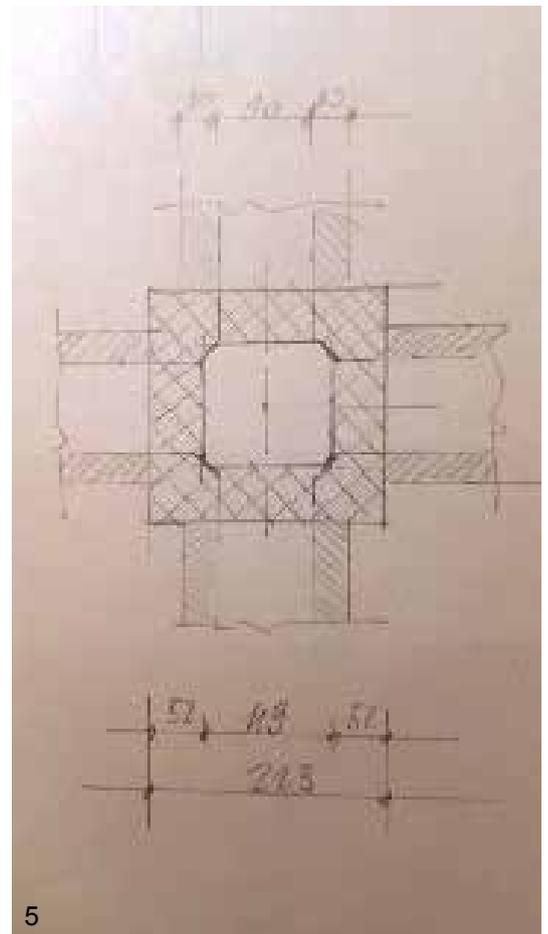
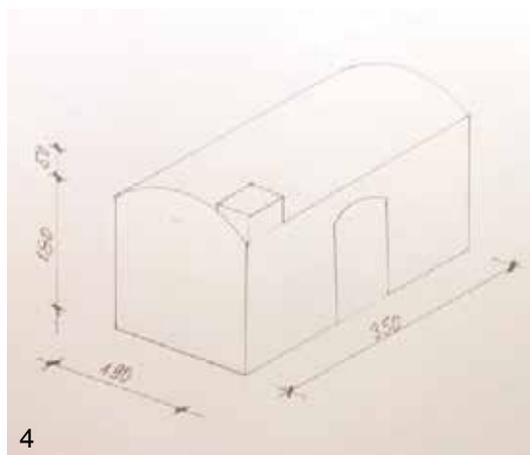
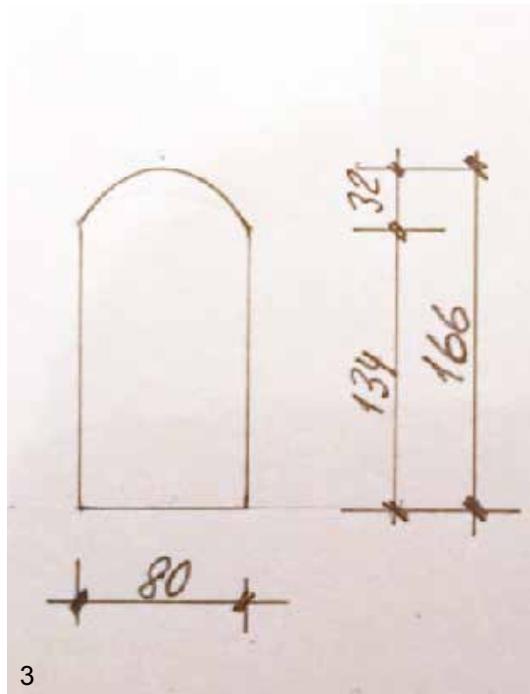


Figura 3
Figura 4
Figura 5

I dati geometrici sono stati desunti dal rilievo eseguito dal prof. Bitelli del DICAM mediante laser-scanner messo gentilmente a disposizione dello scrivente. Nella figure 6 e 7 sono riportati i rilievi delle superfici interne delle parti interrato e delle superfici esterne delle fontana.

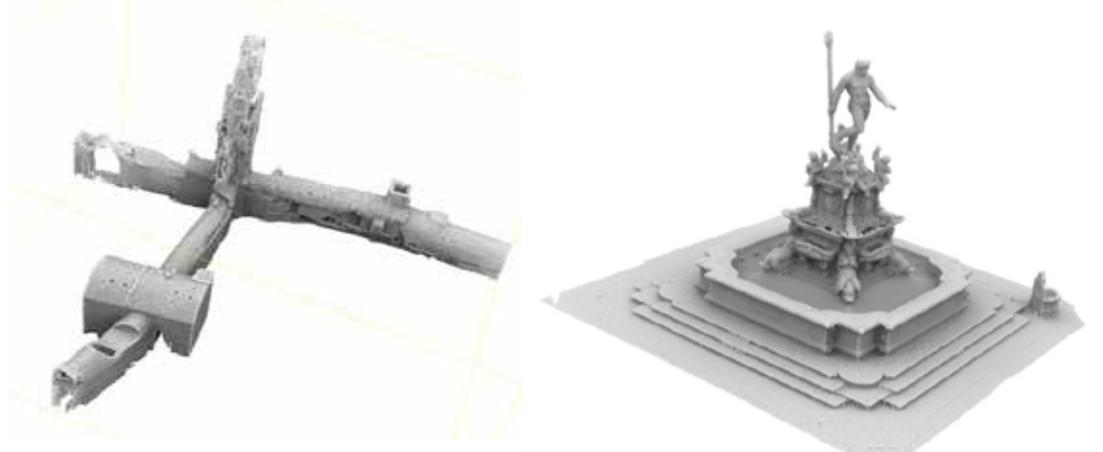


Figura 6 sx
Figura 7 dx

La parte portante del complesso cunicoli-fontana è realizzata in muratura di mattoni con letti di malta di rilevante spessore. Nelle fotografie n. 1 e 2 è riportato come si presenta il paramento interno delle murature delle parti interrato; su vaste estensioni delle superfici relative alle parti oggetto dell'indagine è presente uno strato di patina calcarea conseguente al deposito lasciato dall'acqua che scorre su di esse. Tutte le murature sono di fatto impregnate di acqua la cui provenienza appare essere in parte conseguente all'impianto idrico della fontana ed in parte alla percolazione di acqua proveniente dalla piazza.



Foto 1 sx
Foto 2 dx

**Obiettivi
delle indagini**

Il primo obiettivo delle indagini è stato rivolto alle strutture della parte interrata al fine di definire la tessitura e gli spessori delle murature verticali e le proprie caratteristiche meccaniche nonché l'approfondimento rispetto al piano viabile.

Come da programma lo spessore delle murature è stato indagato con semplici perforazioni delle murature mediate trapano e l'aspetto è stato valutato mediante indagini endoscopiche. Per la valutazione della qualità delle murature sono state prelevate carote con diametro di 10 cm da sottoporre a prove di laboratorio; le posizioni dell'esecuzione dei saggi è stata scelta sulla base della possibilità di poterli effettivamente svolgere in ragione delle ristrette dimensioni degli ambienti in cui si è dovuto operare e delle relative condizioni di sicurezza sia degli operatori, sia delle stesse strutture da indagare.

Si ricorda (foto n. 3) che la camera di manovra è attualmente puntellata in entrambe le sue appendici con sostegni metallici assai raffittiti.

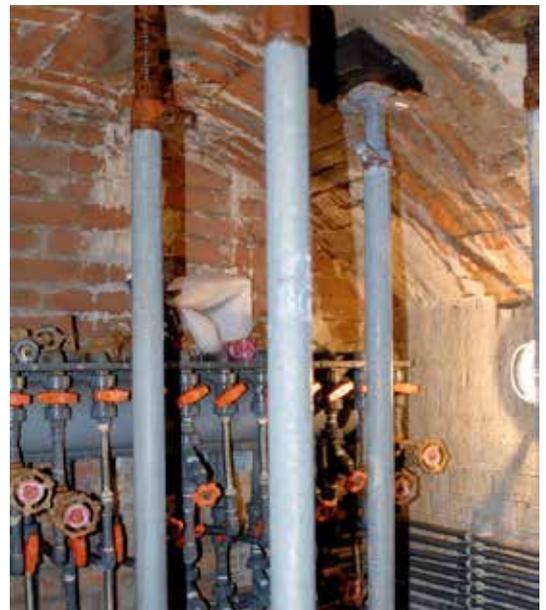


Foto 3a sx
Foto 3b dx

Sulla parte emergente della fontana, quella al di sopra del piano di campagna, non è al momento stato possibile eseguire indagini dirette in quanto lo stretto vano all'interno non permette il posizionamento delle attrezzature di indagine e misura.

A questo proposito si ricorda che in data 3 marzo 2016 lo scrivente ha potuto eseguire una ispezione visiva superficiale della parte emergente della fontana, mediante l'uso di una piattaforma mobile messa a disposizione dal Comune di Bologna. Degli esiti di tale indagine è stata redatta una breve nota, riportata in allegato (allegato n. 1) alla quale si rimanda sia per le considerazioni di carattere generale in essa contenute, sia per quelle specifiche. In particolare dopo i sopralluoghi effettuati sia all'interno che all'esterno della fontana si è potuto riconoscere che la determinazione più attenta degli spessori della parte portante la statua del Nettuno può essere fatta solo con indagini eseguite dall'esterno ad esempio con l'asportazione di lastre lapidee di rivestimento o con perforazioni da eseguire in corrispondenza di opportune zone da concordare con coloro che si occupano del bene da un punto di vista artistico e monumentale. Pertanto di tale parte in questa relazione non verrà fatto alcun riferimento e si rimanda la valutazione più precisa dopo l'aver assunto decisioni in ordine alle possibilità di indagini dall'esterno.

Le indagini eseguite

Compatibilmente con le condizioni ambientali nelle quali si è dovuto operare sono state eseguite le prove di seguito elencate:

- n. 2 perforazioni sulle pareti della camera di manovra per la determinazione dello spessore delle stesse e indagini endoscopiche;
- n. 2 carote sulle pareti della camera di manovra per il prelievi di campioni da sottoporre a prove presso il Laboratorio del DICAM;
- n. 1 perforazione sulla volta della camera di manovra;
- n. 1 perforazione sulla parete del cunicolo di collegamento fra camera di manovra e camera al di sotto della statua;
- n. 1 perforazione sulla volta del cunicolo di collegamento fra camera di manovra e camera al di sotto della statua;
- n. 1 carota nella parete verticale del cunicolo, subito al di là della botola di accesso posta sul lato sud della fontana;
- n. 1 perforazione sulla parete verticale del cunicolo, subito al di là della botola di accesso posta sul lato sud della fontana;
- n. 1 perforazione sulla volta del cunicolo, subito al di là della botola di accesso posta sul lato sud della fontana;
- prelievo di due coppie di mattoni nel cunicolo, subito al di là della botola di accesso posta sul lato sud della fontana.

Nella figura n. 8 sono riportate le posizioni dei saggi svolti.

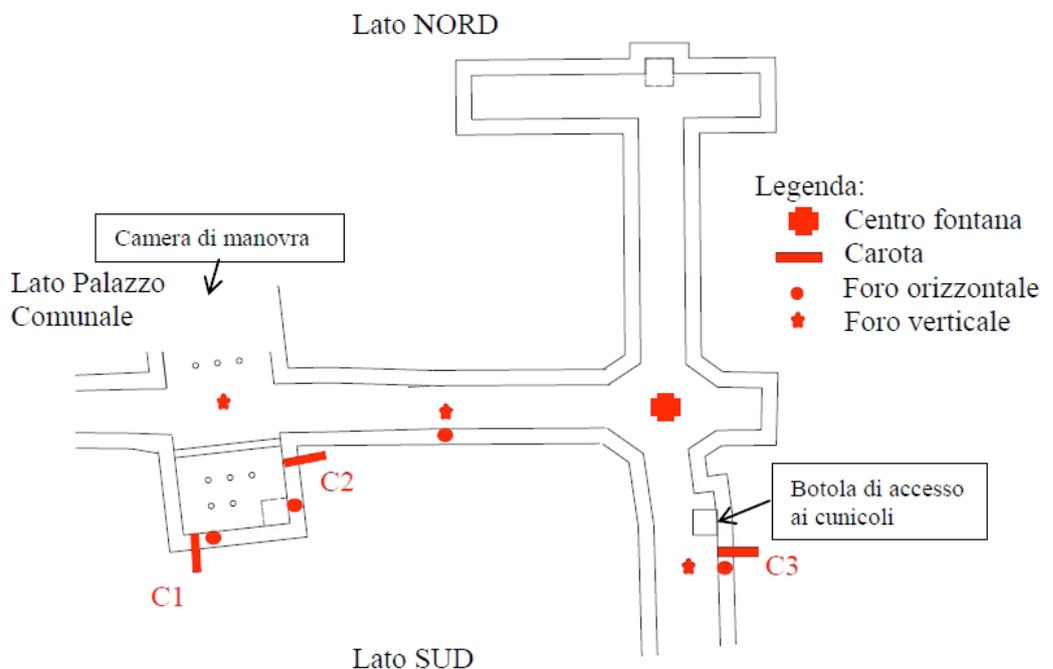


Figura 8

Le perforazioni sono state portate fino al superamento dello spessore della parte di muratura che si ritiene costituisca la parte portante: esso è stato individuato o per il raggiungimento di materiali non più assimilabili a laterizio, o per il riscontro (in alcuni sondaggi ad asse verticale) di strati più resistenti quali possibili getti di sottofondo della pavimentazione o la pavimentazione stessa della piazza.

Difficoltà si sono registrate nella ispezione con endoscopio. Infatti dopo l'esecuzione del foro la abbondante presenza di acqua non ha permesso la completa pulizia dei fori nei quali l'acqua, mescolandosi con la polvere della perforazione, creava una fanghiglia non asportabile come di solito avviene mediante soffiatura; in queste condizioni l'impasto di acqua e polvere ricopriva la testa dell'endoscopio impedendo una chiara visione dell'interno del foro.

Gli esiti delle prove in situ

Si riporta di seguito una sintesi delle prove eseguite ed alcuni dei principali risultati. Gli spessori medi rilevati sono di una testa di mattone (circa 15 cm) per le volte dei cunicoli e della camera di manovra e di circa due o tre teste di mattone per le pareti (vedi carote).

Programma delle prove di laboratorio

Prove su carote

Sono riportati alcune fotografie e commenti relativi ai prelievi eseguiti secondo lo schema precedentemente illustrato.

Carota in posizione C1 (vedi figura n. 8)

E' stata eseguita sulla parete di fondo della camera di manovra. Nelle fotografie n. 9-12 sono riportate le fasi esecutive del prelievo, il foro dopo il prelievo e l'immagine della carota.



Foto 9 sx
Foto 10 dx



Foto 11 sx
Foto 12 dx

La carota si presenta con un letto di malta di notevole spessore ed inoltre si riconosce che la malta stessa non è completamente penetrata fra i diversi mattoni.

Carota in posizione C2 (vedi figura n. 8)

E' stata eseguita sulla parete laterale della camera di manovra verso la fontana. Nelle fotografie n. 13-16 sono riportate le fasi esecutive del prelievo, il foro dopo il prelievo e l'immagine della carota.

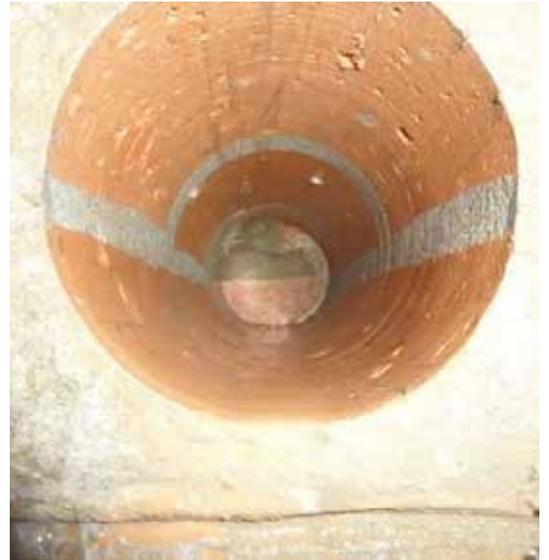


Foto 13 sx
Foto 14 dx



Foto 15 sx
Foto 16 dx

Anche in questo caso si riconosce un consistente spessore dei letti di malta (come emerge anche dal rapporto dello stesso con la dimensione della carota che è di 10 cm) ed una elevata porosità del mattone (circostanza non favorevole in considerazione della).

Carota in posizione C3 (vedi figura n. 8)

E' stata eseguita sulla parete laterale del cunicolo che dalla fontana procede verso sud, oltre la botola di accesso dalla piazza. Nelle fotografie n. 17-20 sono riportate le fasi esecutive del prelievo, il foro dopo il prelievo e l'immagine della carota.



Foto 17 sx
Foto 18 dx



Foto 19 sx
Foto 20 dx



Anche in questo caso la carota presenta una muratura con sconnessioni come peraltro è già riscontrabile dalla sola visione della superfici della muratura.

Nella stessa zona del prelievo infatti la muratura si presenta con la parte inferiore realizzata in ciottoli arrotondati e la parte superiore in mattoni (foto 21).



Foto 21

Dopo la suddivisione delle carote in più parti (previste tre per la carota C1 e tre per la carota la C2) si intende svolgere il seguente gruppo di indagini per la determinazione delle caratteristiche meccaniche delle murature:

- Prova brasiliana con inclinazione del letto di malta a 45° rispetto alla direzione di applicazione dell'azione per la determinazione della resistenza a taglio della muratura;
- Prove brasiliane con inclinazione del letto di malta a 90° rispetto alla direzione di applicazione dell'azione per la determinazione della resistenza a compressione della muratura;
- Formazione di prismi o cubetti di laterizio da sottoporre a prova di schiacciamento per la determinazione della resistenza a compressione del mattone;
- Eventuale prelievo di uno strato di malta per la determinazione della resistenza a compressione della malta mediante una prova di doppio punzonamento.

Le suddette prove richiedono la preparazione dei campioni con tagli e rettifiche di superfici e pertanto potranno essere eseguite dopo l'approntamento dei singoli campioni. Degli esiti delle prove si farà riferimento nella successiva relazione.

Prove su coppie di mattoni

Sono state prelevate nel cunicolo che parte dalla fontana e si dirige verso sud, due coppie di mattoni con l'intento di valutare la resistenza della muratura. Nelle foto n. 22-24 è riportato il luogo di prelievo delle coppie di mattoni e l'aspetto delle coppie prima della esecuzione delle prove in laboratorio.



Foto 22



Foto 23 sx
Foto 24 dx

Le prove richiedono la predisposizione del livellamento con malta delle superfici prima della applicazione del carico per valutare la resistenza a compressione; sono dunque necessari tempi per la presa e l'indurimento del letto di malta prima di sottoporre i campioni a prova di schiacciamento per la valutazione della resistenza alla compressione della muratura.

**Prime
considerazioni
sullo stato
di sollecitazione
delle murature**

La verifica dello stato di sollecitazione delle murature non può ancora essere completato in quanto per la parte in elevazione della fontana, ad oggi non si dispone delle effettive misure dello spessore delle murature e dei rivestimenti; si può solo fare una ipotesi.

Nella figura 25 è riportato un possibile schema della distribuzione delle murature per la parte emergente della fontana.

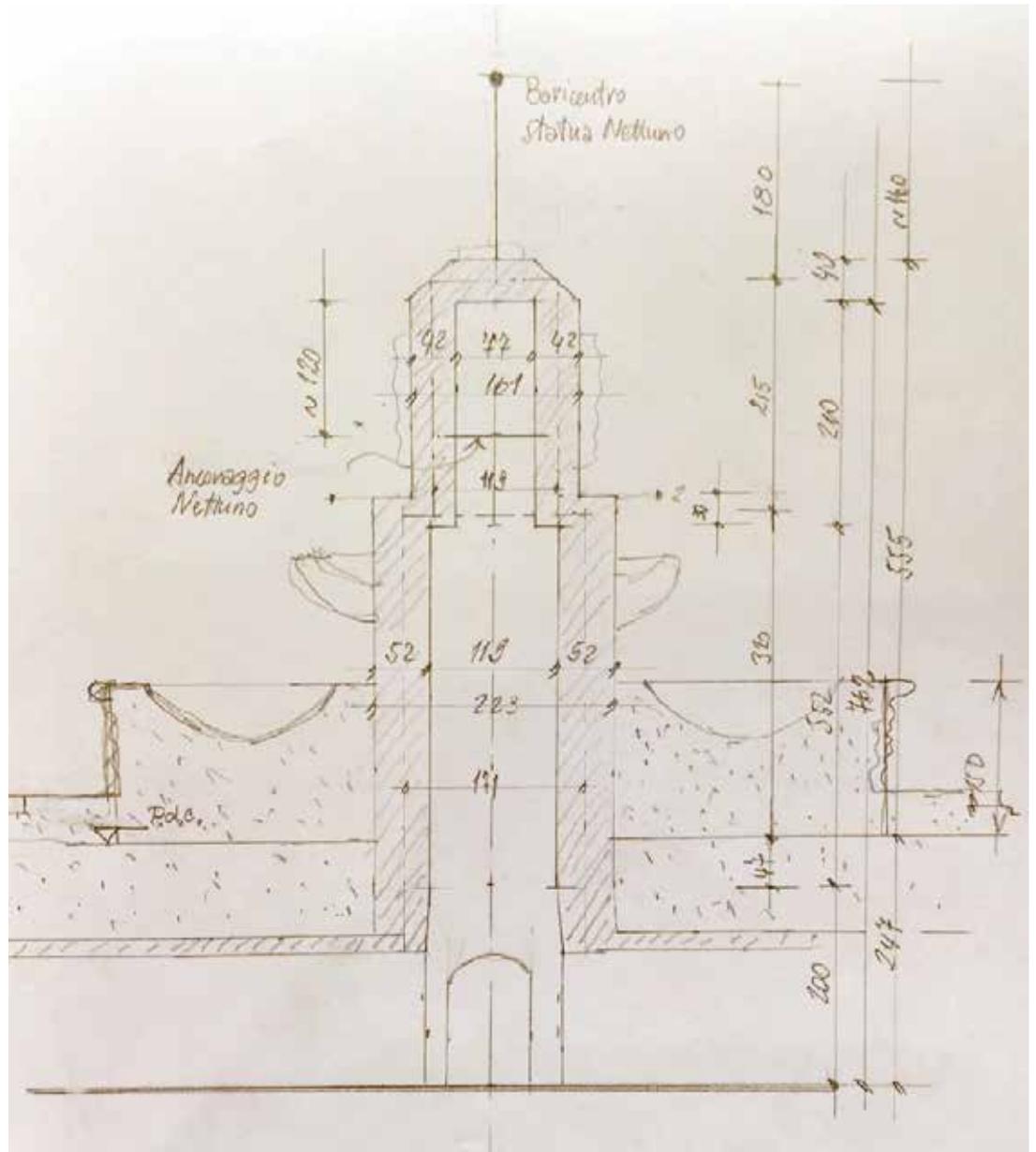


Foto 25

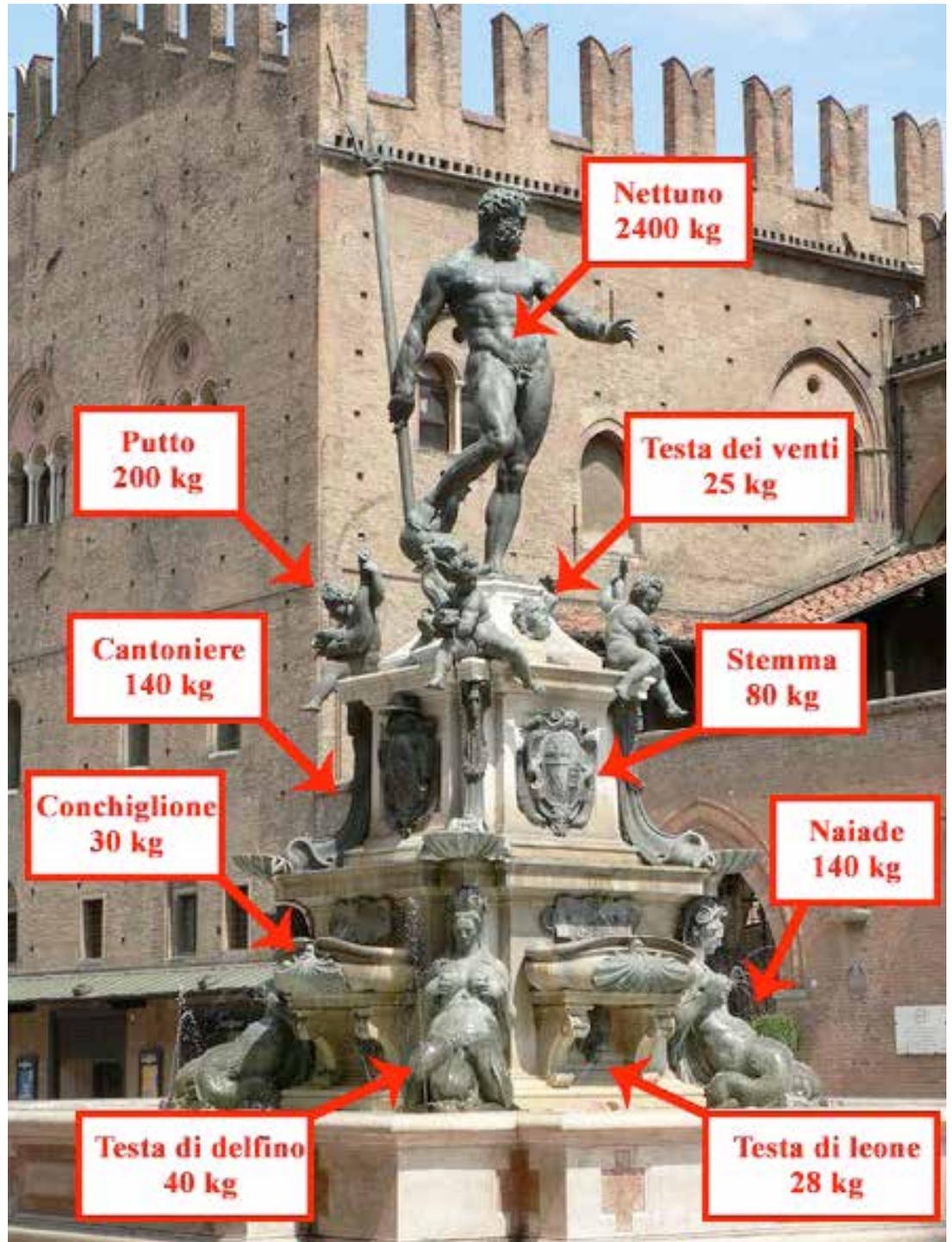


Foto 26

Nella figura n. 26 sono riportati i pesi delle parti in bronzo desunti dai documenti di un precedente intervento di restauro.

Da una semplice analisi dei carichi verticali e delle stimate dimensioni delle sezioni resistenti si evince che, per effetto dei soli carichi verticali, lo stato di tensione delle ipotizzate murature risulta modesto dell'ordine di pochi kg/cmq. Una valutazione definitiva potrà dunque essere eseguita quando saranno disponibili i rilievi degli effettivi spessori delle murature portanti.

Con considerazioni analoghe valori corrispondenti si possono ottenere per le volte dei cunicoli tenendo conto di un possibile sovraccarico sul piano stradale di 1000 kg/mq.

Come già accennato questi valori saranno verificati con indagini più dettagliate e la costruzione di modelli numerici dopo che saranno disponibili le resistenze delle murature a seguito delle prove in corso di esecuzione.

Nella prossima relazione verranno ripresi gli elementi qui esposti e completati sulla base degli esiti delle prove condotte in laboratorio sui campioni di muratura prelevati in situ.

Prof. Ing. Pier Paolo Diotallevi