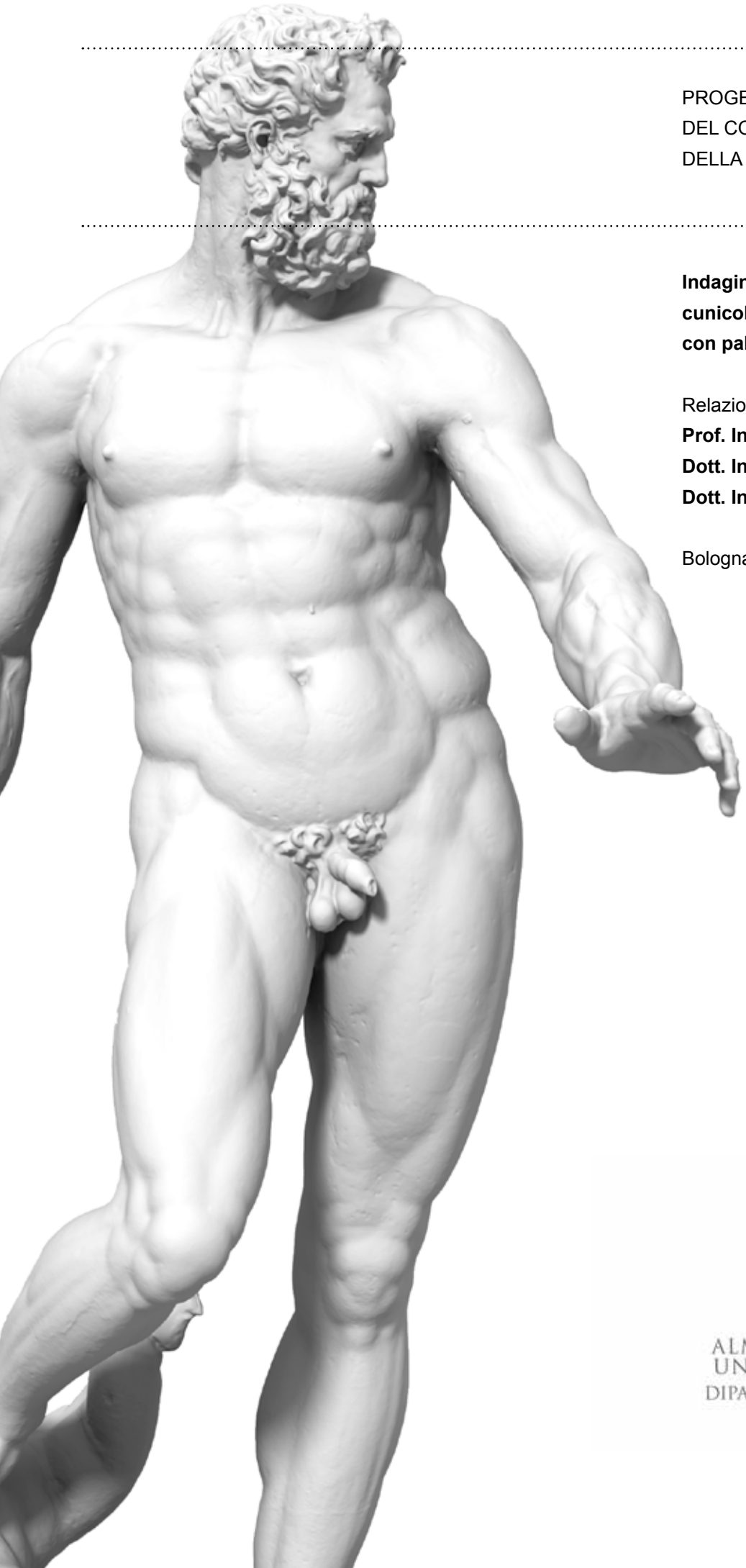


PROGETTO DI RESTAURO
DEL COMPLESSO MONUMENTALE
DELLA FONTANA DEL NETTUNO

Indagini e mappatura del degrado del cunicolo di collegamento della fontana con palazzo D'Accursio

Relazione a cura di:
Prof. Ing. Claudio Galli
Dott. Ing. Patrizia Rambaldi
Dott. Ing. Mattia Santi

Bologna, 02/05/2016

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

INDICE

1. Premessa

2. Descrizione del cunicolo

3. Indagini effettuate e mappatura del degrado
    3.1 Indagini conoscitive
    3.2 Rilievo dell'umidità nel cunicolo
    3.3 Mappatura del degrado nel cunicolo

4. Risultati delle indagini
    4.1 Umidità
    4.2 Altre forme di degrado

5. Discussione dei dati e linee guida per il progetto di intervento

TAVOLE

1. Planimetria della piazza del Nettuno con rilievo sottoservizi

2. Sovrapposizione cunicolo-piazza

3. Planimetria, sezioni longitudinali del cunicolo

4. Sezione trasversali

5. Mappatura del degrado nelle sezioni longitudinali

6. Mappatura del degrado nelle sezioni trasversali

1. PREMESSA

La fontana del Nettuno presenta criticità tanto nel cunicolo che si snoda da palazzo D'Accursio al manufatto, quanto sulla struttura materica della fontana medesima.
Un restauro consapevole deve prendere in considerazione entrambi i manufatti, pertanto anche lo studio del cunicolo deve essere affrontato in forma sistematica, pur non essendo stato oggetto di particolari studi ed interventi nel corso dei restauri precedenti.

Ai fini di una comprensione critica del manufatto sotterraneo e di un'indagine a tutto campo del suo stato di conservazione e delle modalità legate ai problemi della sicurezza per le squadre di manutenzione, la ricerca deve essere sostanziata da un'analisi critica condotta in forma sistemica a tutto campo, ampliata a tutte le discipline di confine che concorrono alla definizione del progetto di restauro, quali il disegno, la storia, la statica, la chimica e fluodinamica. Gli studi storici, i rilievi geometrici, le indagini e analisi costruttive, gli accertamenti sulla caratterizzazione della materia che compone il manufatto devono essere incrociati fra loro e con quelli relativi alle indagini sul degrado, sull'entità dell'umidità presente nel cunicolo nelle sue varie forme e sull'ambiente circostante (sovrastruttura, pavimentazione, sistemi smaltimento e adduzione acque, etc.) ai fini di una corretta individuazione delle cause scatenanti il degrado del manufatto sotterraneo.

In una visione olistica del tema, è stato creato un gruppo di ricercatori dell'Ateneo bolognese che si è interfacciato sotto la guida del prof. Marco Gaiani, e, ciascuno secondo le proprie competenze, si è attivato nella produzione delle seguenti sezioni:

- ricerca storica (Prof. Francesco Ceccarelli),
- rilievo della zona interrata e dei sottoservizi (Proff.. Fabrizio Apollonio e Gabriele Bitelli),
- indagini diagnostiche sui materiali (Prof. Elisa Franzoni),
- indagini fisico-meccaniche e statiche (prof. Pier Paolo Diotallevi);
- rilievo del degrado (prof. Claudio Galli, ingg. Patrizia Rambaldi, Mattia Santi),
- qualità delle acque (prof. Maurizio Mancini e altri)
- analisi microbiologica (Dott. Sandra Cristino)
- impianto idraulico e sistema di ricircolo (Prof. Giovanni Naldi, dott. Cristiana Bragalli)

2. DESCRIZIONE DEL CUNICOLO

La presente relazione sviluppa lo studio del degrado del cunicolo sotterraneo lungo il quale corrono i sistemi impiantistici, di adduzione dell'acqua, ed elettrico e sul quale è impostato il catino della fontana, in corrispondenza dell'incrocio con il cunicolo che sale verso i bagni di Mario.
Il cunicolo è stato rilevato per definire, oltre la sua geometria, anche il rapporto che intercorre tra palazzo D'Accursio, l'ambiente circostante della piazza e i sottoservizi impiantistici che la attraversano.

Il cunicolo segue un percorso costituito da tratti rettilinei che formano leggere curvature: si sviluppa a partire dal perimetro esterno di palazzo D'Accursio, in corrispondenza della scalea d'accesso alla sala Borsa; prosegue sotto il palazzo medesimo, che attraversa diagonalmente ai lati della torre relativa all'ampliamento del Terribilia; ritorna nuovamente sotto la piazza, fuori dal palazzo e prosegue fino al monumento. In corrispondenza della proiezione della fontana si trova il cunicolo che scende dai bagni di Mario, in cui correvano, una volta, le condutture che alimentavano il monumento (cfr. tav. n. 3, planimetria e sezioni longitudinali).

La sezione del cunicolo si mantiene pressochè costante lungo tutto il tragitto, ha una larghezza pari a m.0,85-90, un'altezza delle pareti di circa metri m. 1,30 ed è caratterizzata da una copertura con volta a botte, che sviluppa un'altezza massima del cunicolo pari a circa m. 1,70. Nel corso del Novecento sono state effettuate alcune restrizioni in altezza del cunicolo dovute all'attraversamento del medesimo di tubazione del gas e dell'acquedotto. Prima dell'arrivo alla fontana il cunicolo subisce un allargamento, costituito da due appendici laterali a pianta rettangolare, che formano una sorta di vano, dimensioni m. 3,5 per m. 1,90, con un'altezza massima pari a m. 2,34 circa. La sezione in corrispondenza della fontana cambia radicalmente ed assume una forma a campana per consentire alle tubazioni di salire ed alimentare la fontana a diverse altezze (cfr. tav. n. 3, planimetria e sezioni longitudinali e tav. 4, sezioni trasversali).

Il cunicolo è stato realizzato interamente in mattoni di laterizio, secondo la consuetudine bolognese, legati con malta di calce idraulica; lungo le pareti, in diversi tratti, la struttura sotterranea risulta intonacata con una superficie grezza e non rifinita a staggia.
Per quanto concerne le analisi effettuate sui campioni prelevati atte a determinare le loro caratteristiche, si veda segnatamente la relazione della Prof. Franzoni, da cui si evince che i laterizi impiegati "presentano una porosità assai elevata, seppure piuttosto tipica per i laterizi storici bolognesi ed un contenuto non trascurabile di carbonato di calcio (che di solito denota una temperatura di cottura non elevata)". Le malte di allettamento sono simili fra loro e a quelle dell'intonaco e sono costituite "da legante a calce con aggregato essenzialmente quarzoso-feldspatico".
Al momento sono ancora in corso le prove di natura meccanica, che sono state effettuate sul-

le carote prelevate dal cunicolo dal prof. Diotallevi per determinare la resistenza dei materiali, di cui è riportata, a favore di una visione generale e sintetica, la posizione di prelievo nella tav. n 3, che è stata indicata con numeri preceduti dalla lettera “D”; i fori corrispondenti alle carote sono indicati con Dc e i fori relativi all’endoscopie sono indicati con Df. Nella stessa tavola, naturalmente, sono stati indicati anche i punti di prelievo effettuati dalla prof. Franzoni per le indagini chimiche che sono stati contraddistinti con un numero preceduto dalla lettera “F”.

La pavimentazione del cunicolo è costituita da materiali diversi: semplice terra battuta (in corrispondenza dell’accesso da palazzo D’Accursio), lastre in cemento e quadrelli in cotto (nella zona fra l’allargamento del cunicolo e la fontana; lungo il suo percorso sono state installate delle caditoie che raccolgono le acque che percolano dalla volta e dalle pareti.
Come accennato il cunicolo è ricoperto da uno spessore materico di sezione variabile, ma di cui non si conosce la stratigrafia in quanto non sono stati rinvenuti i progetti relativi alla sistemazione della piazza effettuata dal prof. Costantino Dardi, pur essendo stati richiesti alla direzione dei lavori che a suo tempo eseguì l’opera (Ing. Stagni dello studio Sglab). La piazza è caratterizzate da una pavimentazione in lastre di pietra avente differente natura che formano riquadri di grandi dimensioni, di cui non si conoscono gli spessori delle pietre e la tecnica di allettamento, ivi compreso il pacchetto dei sottofondi. In linea generale il materiale si presenta ben conservato, salvo qualche piccola eccezione, ma da un esame sommario, eseguito a vista, i giunti presentano diverse scarniture.

All’interno dello spessore che ricopre il cunicolo si sviluppano i sistemi impiantistici dei sottoservizi, quali:

- acquedotto
- fognatura mista
- fognatura bianca
- linea telefonica
- canalizzazioni elettriche

I sistemi impiantistici sono stati rilevati con cura, sia per comprendere la loro specifica natura (dimensione tubazioni, profondità dalla pavimentazione, pozzetti, caditoie, etc.), sia per determinare i loro percorsi e, di conseguenza, individuare le interferenze con il cunicolo medesimo e le quote di posizionamento dei pozzetti; a tale proposito si rinvia alla tav. n. 2, in cui sono stati riportati i sistemi impiantistici e la posizione del cunicolo.

Si rileva, inoltre, che all’interno del cunicolo sono presenti tre tubazioni, che lo attraversano, ostacolando il passaggio; in corrispondenza delle due condotte gas e acqua, per consentire la visitabilità della struttura e permettere le manutenzioni, è stato ricavato un abbassamento nella pavimentazione (cfr. tav. n.3).

3. INDAGINE EFFETTUATE E MAPPATURA DEL DEGRADO

3.1. Indagini conoscitive

In una visione globale di stretta connessione tra passaggio sotterraneo e parte basamentale del manufatto in oggetto, sono state effettuate una serie di indagini per studiare la strutturazione costruttiva del catino e dei suoi gradini perimetrali, per comprendere la dimensione dei conci di pietra e l'integrità della materia utilizzata, al fine di valutare l'eventuale presenza di perdite d'acqua che costituirebbero un grave danno per il cunicolo sottostante.

Indagine georadar

Lo strumento di indagine utilizzato per la comprensione del sistema esterno del catino della fontana è il GPR che, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne alla materia indagata. Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato all' interno del materiale tramite un'antenna trasmittente, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti.

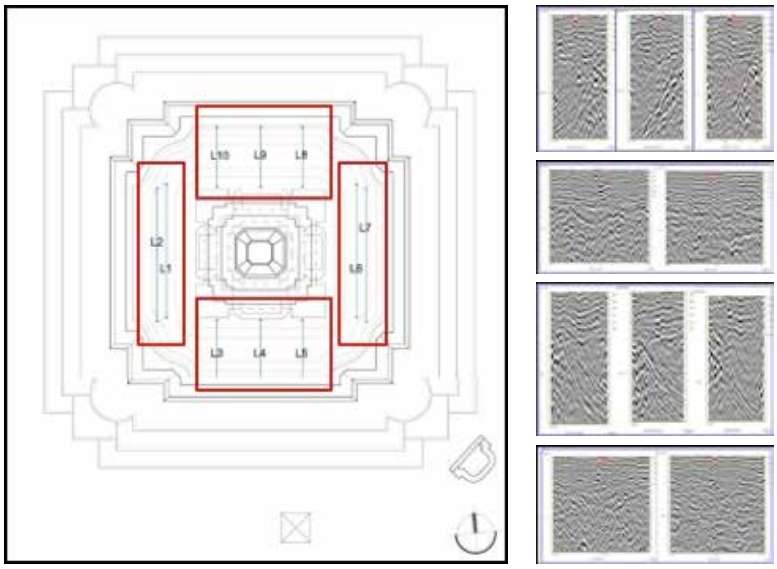


Figura 1: Rilevamento georadar

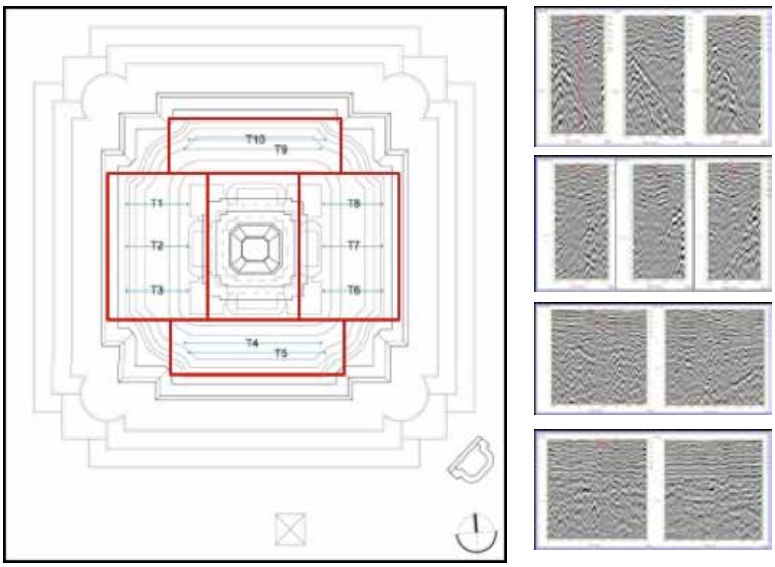


Figura 2: Rilevamento georadar

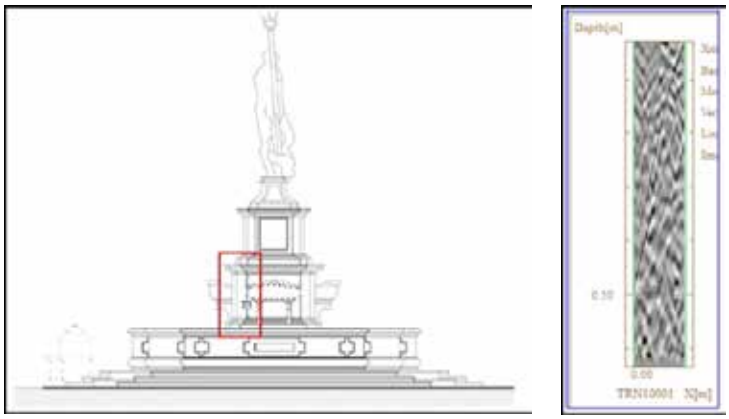
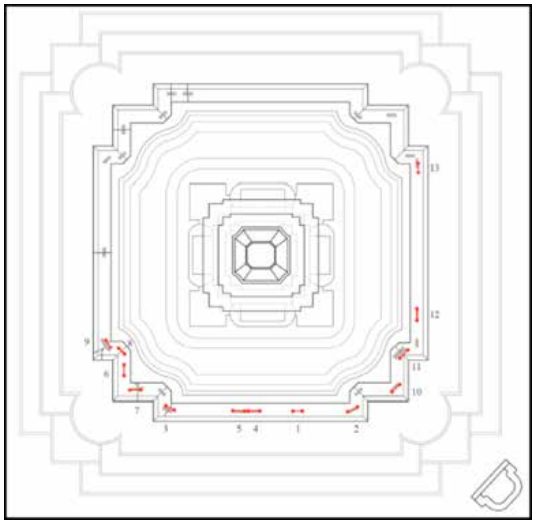


Figura 3: Rilevamento georadar

Indagine con ultrasuoni

Attraverso gli ultrasuoni sono state rilevate le caratteristiche meccaniche del materiale, in particolar modo la sua omogeneità. Per l'esecuzione della prova la sonda emittente e la sonda ricevente sono poste a cavallo dell'elemento da indagare (o sulla stessa faccia nel caso la superficie opposta non sia accessibile).

Figura 4: Rilevamento ultrasuoni



Prova	Tipo di misura	Cornice superiore - direzione misura	Velocità media [m/s]
1	Indiretta	Misura su marmo senza giunzioni - orizzontale	4.850
2	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.700
3	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.670
4	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.400
5	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.600
6	Indiretta	Giunto – orizzontale	4.200 *
7	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.806
8	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.530
9	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.740
10	Indiretta	Misura su marmo senza giunzioni	4.500
11	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.500
12	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.880
13	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.860
14	Indiretta	Giunto – orizzontale	2.300
15	Indiretta	Giunto – orizzontale	3.400
16	Indiretta	Facciata est nella zona inserto – orizzontale	5.300
17	Indiretta	Cordolo basso marmo senza giunto – orizzontale	6.120

** Velocità più alta della media perché è ipotizzabile che le porzioni di marmo siano saldate con malta in modo più accurato che negli altri casi*

Figura 5: Rilevamento ultrasuoni

Indagine termografica

L'indagine termografica è stata effettuata mediante una termocamera speciale ad infrarossi, chiamata anche telecamera termografica, strumento di misurazione elettronico. Esso rileva l'intensità della radiazione dello spettro elettromagnetico mettendola in relazione con la temperatura superficiale irradiata dalla struttura, che si sta inquadrando, convertendola in un'immagine visibile. La termografia permette di individuare anomalie nell'emissione dell'energia e quindi a parità di emissività, di anomalie termiche.

Con questa indagine si voleva verificare:

- l'analisi del degrado per la presenza di umidità;
- la presenza di muffe;
- le infiltrazioni di acqua;
- la suddivisione dei blocchi.

Figura 6: Rilevamento con termografico

Conclusioni

Indagine georadar

- le poche superfici di discontinuità rilevate nella vasca sono imputabile alla presenza di piccoli servizi superficiali (tubazioni, cavetteria elettrica, scarichi etc.) anche ormai in disuso;
- sotto allo strato superficiale della vasca non sono presenti setti e a maggior ragione si esclude la presenza di voltine;

Indagine con ultrasuoni

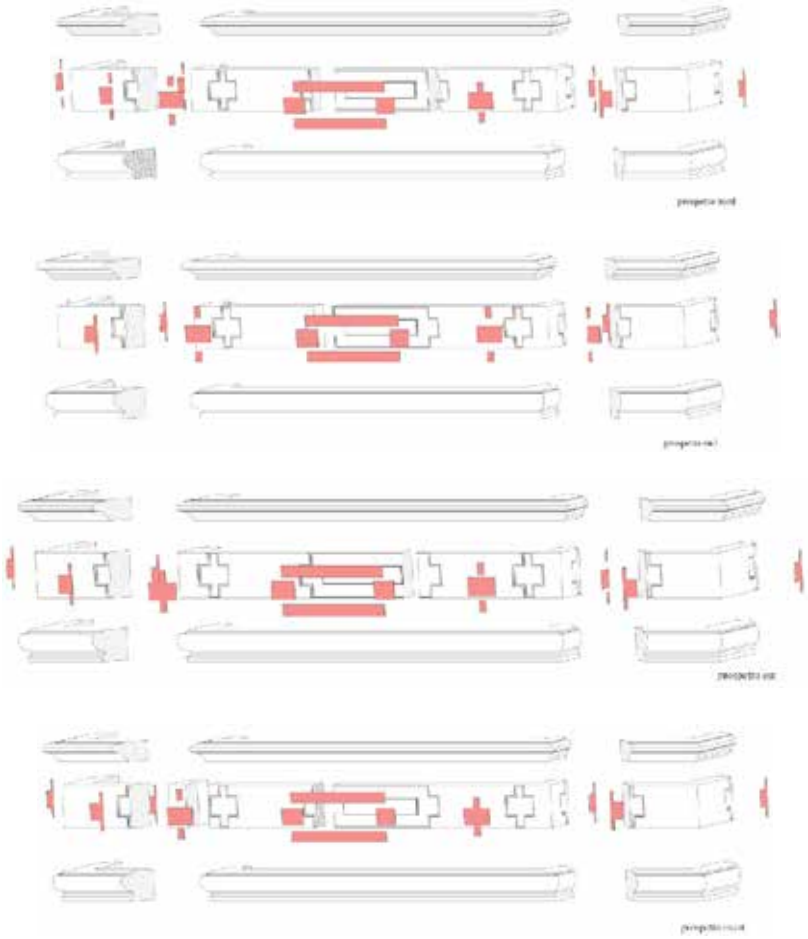
- il basamento della vasca è costituita da un marmo compatto e privo di crepe interne;
- il resto della vasca è rivestita da un marmo deteriorato, crepato e poroso;
- abbiamo avuto il riscontro che dietro ai decori in marmo rosso di Verona vi è del marmo.

Indagine termografica

- non si è riscontrato alcun risultato significativo a causa del periodo in cui si è effettuata l'indagine (febbraio). Per poter effettuare questa indagine occorre che sia presente un

gradiente termico, ossia, essendo il monumento all'aperto, è necessario che il marmo si stia raffreddando (in estate verso l'imbrunire) o si stia riscaldando (in estate o primavera dopo che inizia l'irraggiamento solare).

Strutturazione costruttiva del catino della fontana e dimensioni dei conci di pietra desunti dalle indagini effettuate



Spaccati assonometrici per una lettura schematica in chiave tecnico-costruttiva del catino, quale insieme correlato di elementi lapidei opportunamente studiati per conferire staticità al sistema

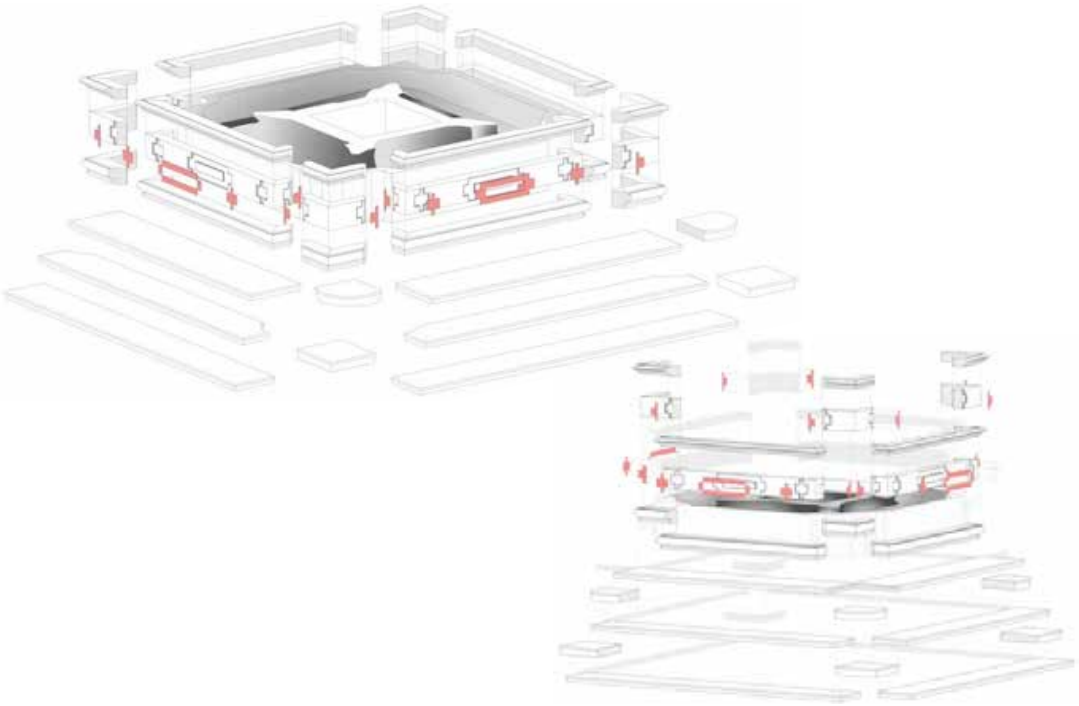


Figura 7: Spaccati assonometrici della fontana

In definitiva le indagini hanno dimostrato che la fontana è stata realizzata a regola d'arte. I vari elementi di cui è composta la vasca sono ben ammorsati tra di loro e il catino interno di mattoni intonacati risulta di pregevole fattura. Non sono state riscontrate evidenti criticità che possano far pensare a linee preferenziali di infiltrazioni inficianti la struttura sottostante.

Figura 8: Restituzione tridimensionale della parte basamentale della fontana

Si ringrazia la società 4 EMME Service S.p.A., sede di Bologna, per il contributo offerto alla ricerca con le indagini specialistiche.

3.2 Rilievo dell'umidità nel cunicolo

Le indagini sono state progettate con l'obiettivo di determinare le cause che producono il degrado (antropiche e non), facendo riferimento alle indagini già effettuate sui materiali dai proff. Diotallevi e Franzoni, al fine di effettuare una lettura comparata dei risultati ottenuti e per verificarne la corrispondenza.

Il rilievo dell'umidità presente nelle murature e nella volta del cunicolo è stato eseguito con l'igrometro misuratore di umidità "Tecnix 590 moisture meter", la cui taratura per il caso di specie è stata eseguita, seppur in via sommaria, in base ai risultati ottenuti sui campioni indisturbati prelevati dalla prof.ssa Franzoni.
I primi punti ad essere stati rilevati sono state le murature dell'anticamera di accesso al cunicolo e i punti indicati dalla prof.ssa Franzoni.

Le murature del vano d'accesso al cunicolo costituiscono il primo caso limite in cui l'umidità può essere considerata assente, in quanto ad un esame a vista le pellicole pittoriche risultano ben adese e prive di ogni forma di degrado; mentre i punti in cui sono stati prelevati i campioni dalla prof. Franzoni, che sono stati sottoposti a rigorose prove di laboratorio per determinare il "contenuto ponderale di umidità col metodo gravimetrico (previa essicazione in stufa a 100 +5 °C)", risultano ad alto contenuto di umidità e possono costituire il secondo caso limite di muratura satura; infatti la relazione afferma che l'umidità "è tale da potersi

ricondurre a condizioni di pressochè completa saturazione ed è compresa fra il 35 e il 50%. Una volta tarato lo strumento sui due casi sopra indicati, sono state eseguite diverse misurazioni che sono riportate nella tavola n. 3 e sono contraddistinte dalle lettere G..
I risultati sono riportati nella tabella n. 1.

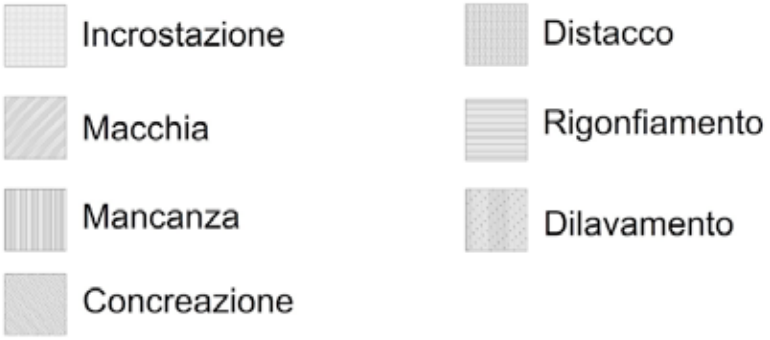
SIMBOLO	MATERIALE	CAMPIONE 1	CAMPIONE 2	CAMPIONE 3	CAMPIONE 4	MEDIA
G0	INTONACO ASCIUTTO ESTERNO	10,5	10,9	9,8	10,0	10
G1/F1	F1 LATERIZIO	29,3	29,8	27,0	28,8	29
G2/F2	F2 MALTA	41,7	42,9	43,4	40,0	42
G3/F3	F3 MALTA	45,8	47,8	50,9	51,0	49
G4/F4	F4 MALTA	28,1	25,0	31,9	32,4	29
G5/F5	F5 INTONACO	21,3	21,4	24,2	22,0	22
G6/F6	F6 STALATTITE	32,1	33,5	34,5	33,7	33
G7/F7	F7 MALTA	38,8	37,0	36,3	40,0	38
G8/F8	F8 MALTA	47,4	50,3	49,4	51,0	50
G10/F10	F10 LATERIZIO	35,8	36,0	39,2	34,5	36
G11/F11	F11 LATERIZIO	35,4	37,8	38,5	37,2	37
G12	INTONACO – SOTTO DARDI	26,0	22,9	27,0	28,1	26
G13	INTONACO – SOTTO TERRIBILE	26,5	28,4	21,9	26,3	26
	SOTTO BASAMENTO FONTANA					
G14	CALCARE	29,1	25,3	28,7	29,5	28
	LATERIZIO	33,4	28,5	33,2	30,6	31
G15	INTONACO	20,2	24,4	23,0	22,7	23
G16	INTONACO	34,6	37,7	30,2	34,2	34
G17	LATERIZIO	28,0	25,0	23,0	25,7	26
G18	MALTA	48,0	55,0	47,0	50,0	50
G19	INTONACO	26,7	23,9	28,0	26,2	26
G20	TUBO	15,0				15
G21	TUBO 2	24,0				24
G22	MALTA	48,0	54,0	49,0	50,3	50
G23	TUBO 3	19,2				19
G24	LATERIZIO	30,0	25,0	28,0	27,0	27
	INTONACO	34,0	36,0	31,0	34,3	34
G25	LATERIZIO	26,0	23,0	26,0	24,7	25
	INTONACO	28,5	30,5	36,0	31,3	31
G26	LATERIZIO	22,0	21,0	26,0	23,0	23
	INTONACO	30,0	36,0	37,0	34,0	34
G27	LATERIZIO	26,0	27,0	22,0	25,0	25
	INTONACO	29,0	37,0	33,0	33,0	33
G28	LATERIZIO	22,3	21,0	29,0	24,0	24
	INTONACO	29,0	30,0	39,0	35,7	33
G29	LATERIZIO	22,0	25,0	26,0	24,3	24
	INTONACO	30,0	40,0	32,0	34,0	34

Tabella 1

Nella tabella sono riportati i punti in cui è stata effettuata la misurazione (prima colonna verticale) e il tipo di materiale saggiato (seconda colonna verticale); a ciascun punto corrispondono diverse letture dell'umidità ai fini di confrontare i valori fra loro e determinare un valore medio, come riportato nell'ultima colonna.

3.3 Mappatura del degrado nel cunicolo

Il rilievo e la mappatura del degrado presente sulle superfici architettoniche del cunicolo sono stati eseguiti mediante un esame a vista e tenendo in considerazione anche i diversi tipi di prove effettuate dai proff. Diotallevi e Franzoni. I risultati sono stati riportati nella tav. n. 4 utilizzando la simbologia prevista dalla UNI NOMAL 11182/2016 e utilizzando un simbolo nuovo per il dilavamento, non essendo presente nella norma. Le forme di degrado rilevate sono le seguenti:



4. RISULTATI DELLE INDAGINI

4.1. Umidità

I risultati delle indagini condotte sull'umidità delle murature consentono di fare le seguenti considerazioni:.

a. nell'anticamera d'accesso al cunicolo il valore del punto G0 corrisponde ad una media di valori pari a 10,0 e detti valori sono riferiti ad una zona in cui le murature sono asciutte;

b. relativamente alla percentuale di umidità presente nei punti saggiati anche dalla prof.ssa Franzoni, i cui i campioni risultavano saturi, si evincono i seguenti risultati:
   - laterizio punti G1, G10 e G11, umidità 29, 36 e 37
   - malta allettamento punti G2, G3, G4, G7 e G8, umidità 42, 49, 29,38, 50
   - intonaco punto G5, umidità 22;

c. nelle zone in cui è stata rilevata l'umidità solo con l'igrometro, senza effettuare campionature da parte della Franzoni si ottengono i seguenti valori di umidità percentuale:
   - laterizio, punti G14, G 17, G 24, G25, G26, G27,G28, G29, umidità rispettivamente pari a 31, 26, 27, 25, 23, 25, 24, 24".
   - Ne consegue che il punto G14, umidità 31 è il più umido ed è posto in corrispondenza della fontana in cui le perdite del catino sono copiose e continuative;
   - Punti G17, G24 sotto alla piazza, umidità rispettivamente 26 e 27, sono inferiori al caso precedente in quanto le ingressioni d'acqua non son continuative, ma legate alle sole precipitazioni atmosferiche;
   - Punti G25 e G26, umidità rispettivamente 25 e 23, posti sotto al palazzo D'Accursio, l'umidità e inferiore rispetto ai casi precedenti sotto la fontana e sotto la piazza.
   - Punti G27 e G28, umidità rispettivamente 25 e 24, posti sotto la scalinata, i valori sono comparabili con quelli sotto al palazzo D'Accursio.
   - Punto G24, umidità 24, posto in corrispondenza del passaggio fra scalinata e palazzo, l'umidità è comparabile con i due casi precedenti sotto il palazzo e sotto la fontana.
   - Malte di allettamento, punti G2, G3, G4, G7, G8, G18 e G22, umidità rispettivamente pari a 42, 49, 29,38, 50,50, 50. Ad esclusione del punto G4, posto nel cunicolo verso i bagni di Mario, e quindi fuori dal tratto da noi studiato, i valori dell'umidità son molto elevati.

d. Intonaci, punti G5, G12, G 13, G15, G16, G19, G24, G25, G26, G27, G28, G29, umidità rispettivamente 22, 26, 26, 23, 34,26, 34, 31, 34, 33, 33, 34. Anche in questo caso siamo in presenza di umidità i cui valori sono meno attendibili rispetto al caso in cui le misurazioni sono state effettuate in corrispondenza di mattoni, in quanto lo strumento può penetrare a differenti profondità rispetto la superficie esterna e quindi dare risultati non perfettamente comparabili fra loro, se non secondo un orientamento generale. Va osservato inoltre che una delle probabili cause dell'umidità diffusa presente sulle superfici del

cunicolo è imputabile anche al fenomeno della condensa; l'elevato tenore dell'umidità relativa dell'aria, induce la formazione di goccioline di rugiada sulle superfici murarie in concomitanza della temperatura stessa di rugiada.

4.2 Altre forme di degrado

Ai fini della presente relazione preme evidenziare le seguenti forme di degrado tutte riportate nella tav. n. 5:

- dilavamenti e umidità per condensa,
- incrostazioni,
- distacchi degli intonaci e loro rigonfiamenti.

I dilavamenti sono concentrati in prevalenza nell'ultimo tratto del cunicolo e in corrispondenza del catino della fontana.

Illustrazione 1: Dilavamenti dell'acqua

L'umidità per condensa è concentrata in corrispondenza delle zone di cui al punto precedente. In linea generale le pareti del cunicolo presentano un'elevata umidità delle superfici architettoniche, siano esse costituita da intonaco o da mattoni in vista.

Illustrazione 2 sx**:** Gocce d'acqua sui tubi
Illustrazione 3 dx**:** Azione dell'acqua sulle murature

Le incrostazioni, come risulta dalle indagini di laboratorio sono di natura calcarea e sono diffuse, nell'allargamento, nella parte terminale del cunicolo e sotto il catino della fontana.

Illustrazione 4:
Incrostazioni

I distacchi degli intonaci e il rigonfiamento degli stessi sono presenti su buona parte delle superfici intonacate. Gli intonaci sono stati utilizzati a partire dalla zona di ingresso fino all'area in cui la pavimentazione è stata ribassata.

Illustrazione 5 sx**:**
Rigonfiamento
Illustrazione 6 dx**:**
Distacco

In buona sostanza si rileva che la presenza di umidità è diffusa su tutte le pareti e la volta del cunicolo. Va osservato che una delle probabili cause dell'umidità diffusa presente sulle superfici del cunicolo è imputabile anche al fenomeno della condensa; l'elevato tenore dell'umidità relativa dell'aria, induce la formazione di goccioline di rugiada sulle superfici murarie in concomitanza della temperatura di rugiada che genera il degrado sulle superfici intonacate, che presentano diverse lacune.

Si rileva infine che l'umidità nei confronti dei materiali "influisce notevolmente sia sulla loro prestazioni meccaniche che sui processi di degrado", inoltre le malte di allettamento risultano corrose in profondità e disgregate.

5. DISCUSSIONE DEI DATI E LINEE GUIDA PER IL PROGETTO DI INTERVENTO

I risultati delle analisi condotte mediante l'igrometro "Tecnix 590 moisture meter" per verificare la percentuale di umidità nell'ossatura muraria, la mappatura del degrado presente sulle superfici architettoniche del cunicolo, il rilievo della planimetria del cunicolo in rapporto alla posizione del palazzo D'Accursio e al contesto ambientale lungo cui si sviluppa la struttura sotterranea, in specie la piazza e i sottoservizi, consentono, se letti in forma sistemica, di fare diverse considerazioni:

a. Impoverimento delle malte di allettamento dei mattoni, che risultano disgregate e prive di coesione a causa del dilavamento dei leganti specie in corrispondenza dell'allargamento del cunicolo, dell'ultimo tratto e sotto al catino della fontana;
b. I mattoni sono saturi pertanto nella condizione in cui si trovano presentano una resistenza inferiore rispetto allo stato originario in cui non risultavano saturi d'acqua, infatti possono essere incisi premendo leggermente con una punta metallica;
c. I risultati, comunicati verbalmente e ottenuti dal prof. Diotallevi mediante prove di resistenza a compressione sui campioni umidi, poi essiccati al forno, indicano il recupero delle proprietà meccaniche e una buona loro resistenza;
d. La superficie pavimentale è ricoperta da un sottile velo d'acqua nonostante la presenza di caditoie di scolo, il ribassamento ricavato nella pavimentazione in corrispondenza dell'attraversamento di tubazioni gas e acquedotto del cunicolo è invaso da uno ristagno d'acqua. Questi due aspetti possono creare forme di pericolo e inficiare la sicurezza nel corso delle manutenzioni periodiche che vengono effettuate ai sistemi idraulici della fontana;
e. Umidità elevata in corrispondenza delle superfici architettoniche dovuta anche alla formazione di rugiada sulle pareti;
f. Percolamenti e umidità diffusi su buona parte del cunicolo con la formazione anche di stalattiti in corrispondenze del catino della fontana;
g. La presenza di acqua appare provenire principalmente da infiltrazioni dall'alto, come sottolineato anche nella relazione della prof.ssa Franzoni che viene confermata dalla "bassissima percentuale di sali solubili nei materiali e della presenza di stalattiti calcaree nelle volte ".

Il quadro generale emerso mediante le indagini condotte dai diversi tecnici e mediante la mappatura del degrado è indicativo per sottolineare criticità che in un futuro non prossimo potrebbero indurre problemi di diversa natura al cunicolo della fontana e di conseguenza alla fontana stessa. Inoltre la presenza diffusa di un velo d'acqua sulla pavimentazione del cunicolo e di uno spessore cospicuo in corrispondenza del suo ribassamento in cui ristagna possono determinare problemi relativamente alla sicurezza sui luoghi di lavoro.

Considerato che:

- non è stato possibile conoscere la sezione del pacchetto pavimentale della piazza e pertanto accertare quali eventuali provvedimenti sono stati impiegati a suo tempo per evitare infiltrazione nel cunicolo;
- le giunzioni fra le lastre della pavimentazione si presentano spesso prive delle stuccature;
- i pozzetti e i chiusini posti in opera a costituire caditoie, raccordi, etc. sembrano non essere stati sufficientemente sigillati e impermeabilizzati secondo le regole correnti che si utilizzano in corrispondenza degli interrati;
- il catino della fontana, i gradini perimetrali presentano sconnessioni che costituiscono probabili linee di passaggio dell'acqua;

Si delineano pertanto linee di intervento per la rimozione delle cause del degrado presente nel cunicolo dovute principalmente alle infiltrazioni di acqua provenienti dalla pavimentazione della piazza, dai sottoservizi (condutture, pozzetti, chiusini, etc.), dal catino della fontana, da ipotetiche perdite dell'impianto idraulico.

Si ritiene indispensabile procedere per momenti successivi a seconda dei risultati conseguiti a seguito degli interventi di manutenzione che saranno adottati.

In una prima fase di intervento si dovrà procedere con la massima cura a :

- rivedere tutte le giunzioni della pavimentazione della piazza;
- rimuovere i gradini perimetrali della fontana e riporli in opera evitando linee preferenziali per le infiltrazioni dell'acqua;
- sistemare tutti i pozzetti presenti in prossimità del cunicolo e impermeabilizzarli lungo la frontiera con la pavimentazione;
- impermeabilizzare il catino della fontana e verificare eventuali perdite dovute alla statua del Nettuno e ai suoi ugelli, considerato che proprio in corrispondenza della campana le incrostazioni calcaree sono diffusissime e anche di spessore consistente.

Dopo questa fase di lavori dovranno essere effettuate una serie di verifiche tramite un monitoraggio scrupoloso del degrado del cunicolo, eseguite in tempi diversi per verificare se sono ancora presenti infiltrazioni d'acqua. Se quest'ultime sono concentrate si dovrà provvedere con interventi puntuali, localizzati sull'elemento costruttivo posto in corrispondenza delle perdite. Inoltre dovrà essere verificata la percentuale di umidità presente nelle murature e se la stessa è in fase decrescente.

Nel caso in cui che la procedura adottata nella prima fase non dia i risultati ipotizzati, si dovrà compiere un intervento radicale per impermeabilizzare il cunicolo, mediante drenaggi sulle pareti dello stesso e adottare una soluzione opportunamente studiata per l'estradosso della volta che potrebbe prevedere l'uso della bentonite o di guaine. In questo ultimo caso si osserva che l'impermeabilizzazione del cunicolo non deve essere tale da impedire la traspirabilità onde evitare il più possibile la formazione di condense.

Prof. Ing. Claudio Galli
Dott. Ing. Patrizia Rambaldi
Dott. Ing. Mattia Santi

TAVOLA N.1
PLANIMETRIA DELLA PIAZZA DEL NETTUNO CON RILIEVO SOTTOSERVIZI

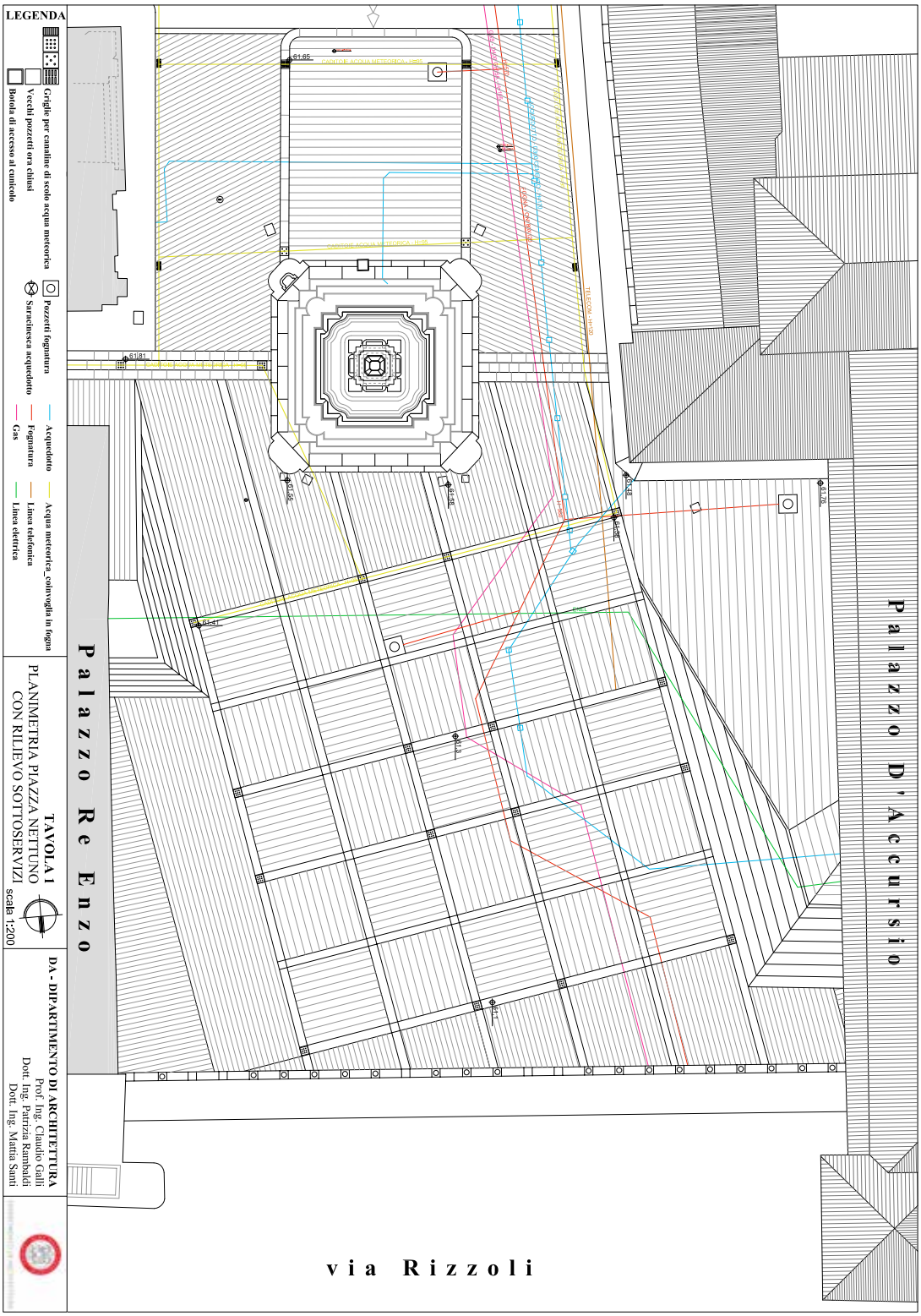


TAVOLA N.2
SOVRAPPOSIZIONE CUNICOLO - PIAZZA

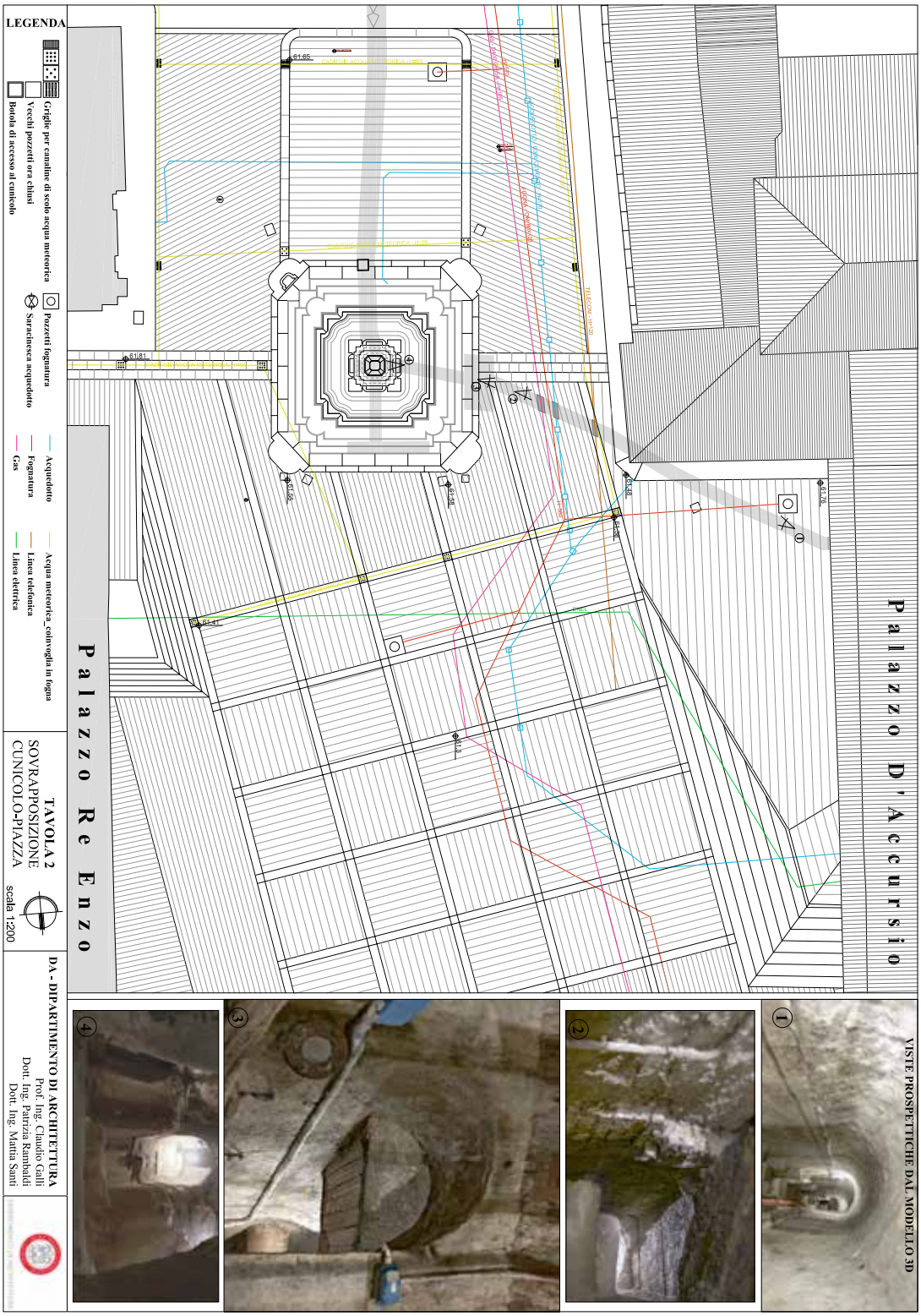


TAVOLA N.3
PLANIMETRIA, SEZIONI LONGITUDINALI DEL CUNICOLO

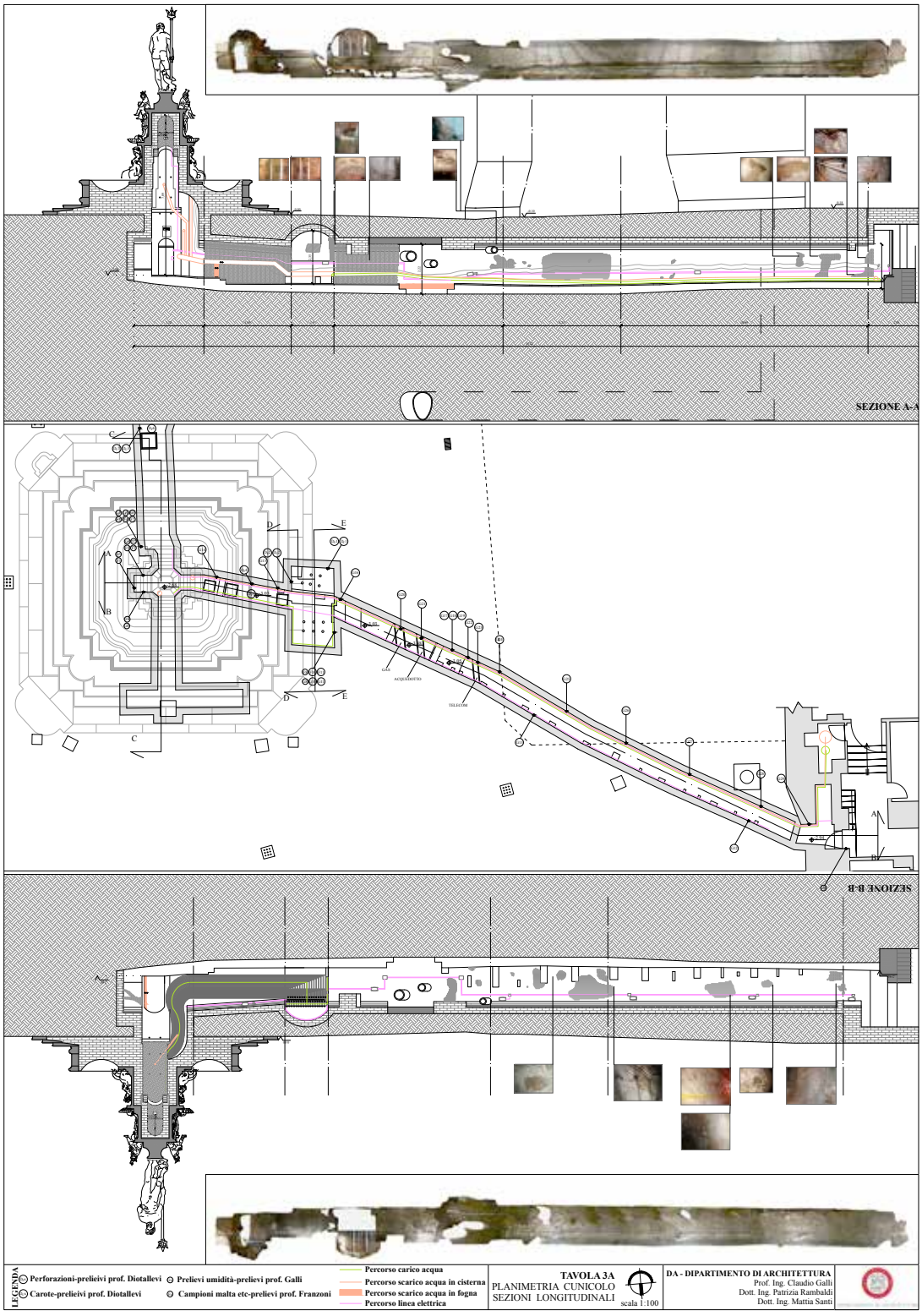


TAVOLA N.4
SEZIONE TRASVERSALI

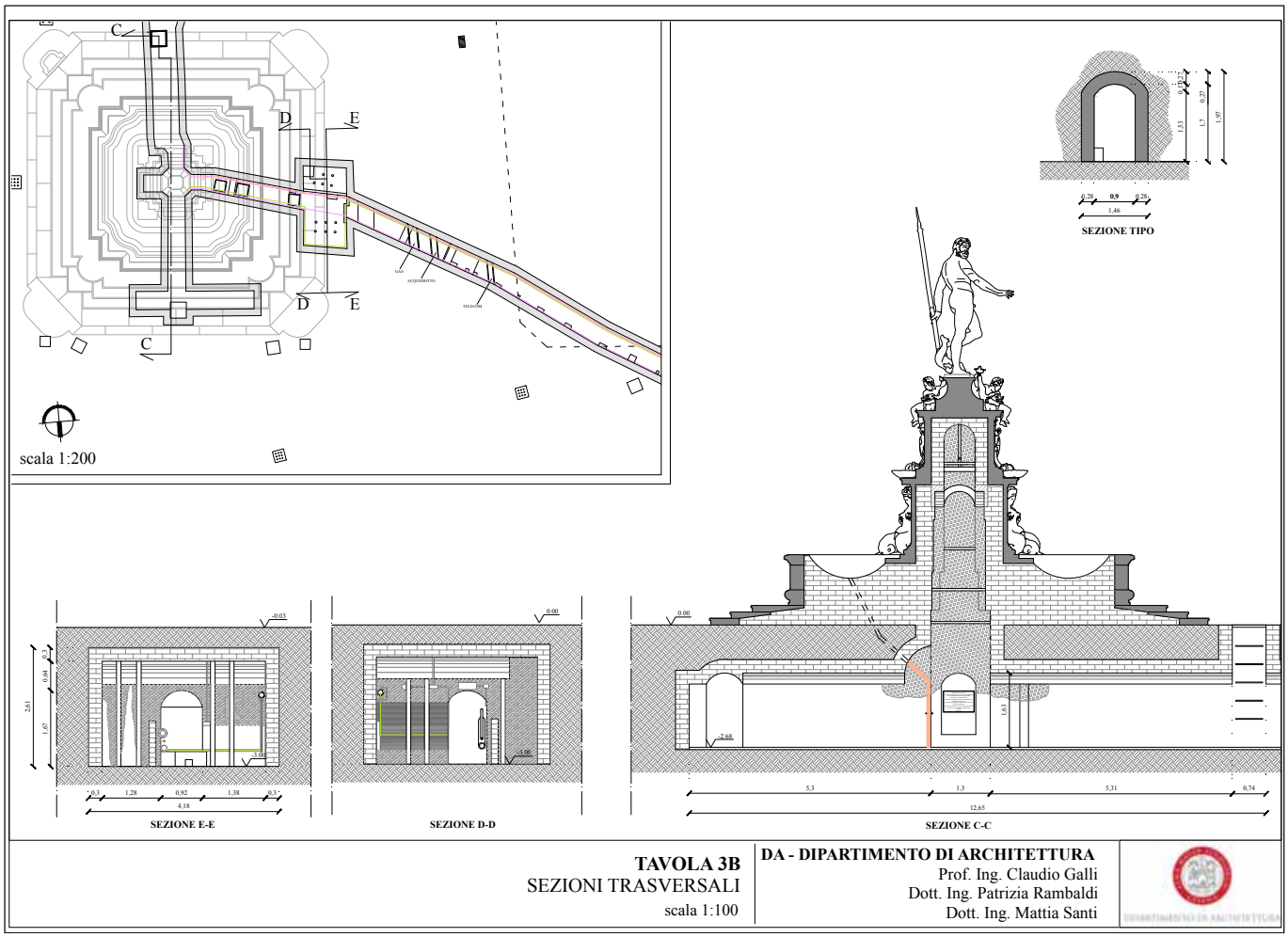
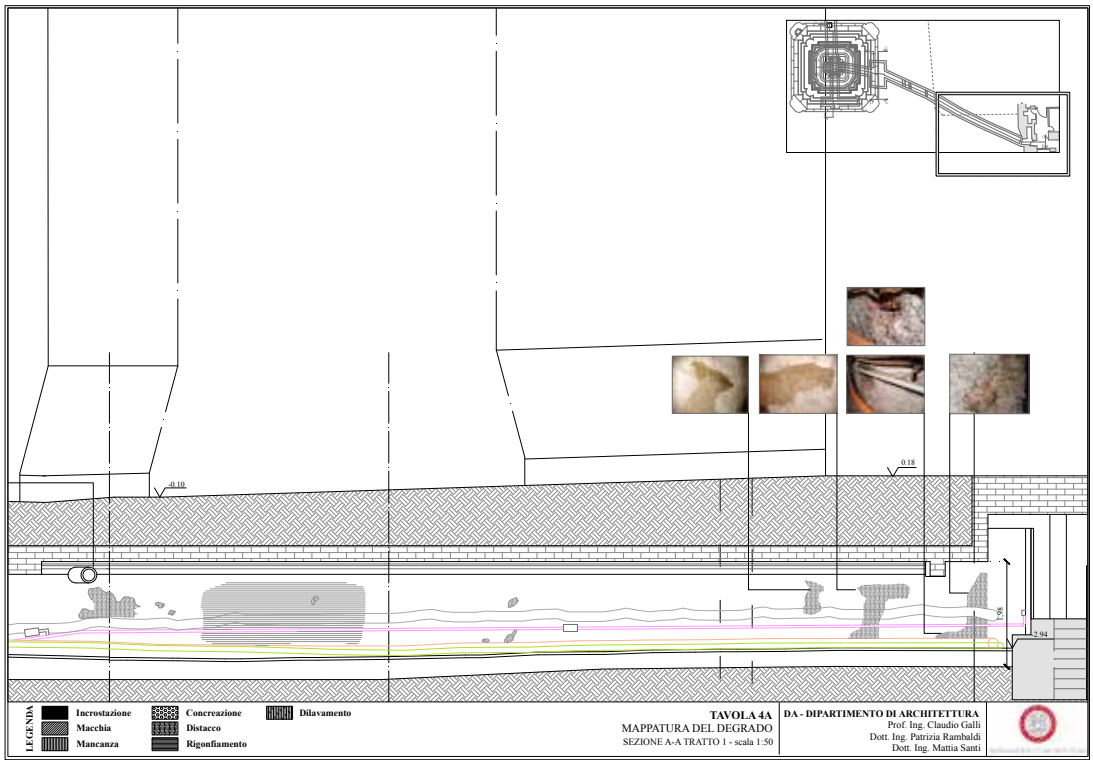
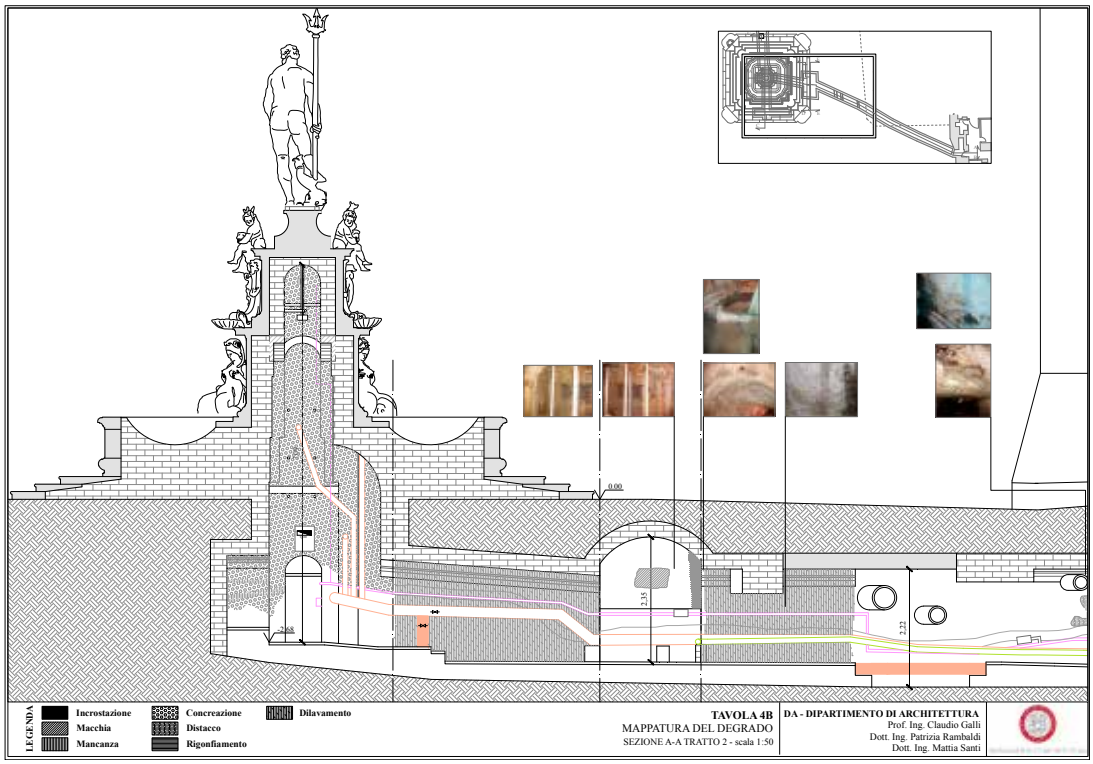
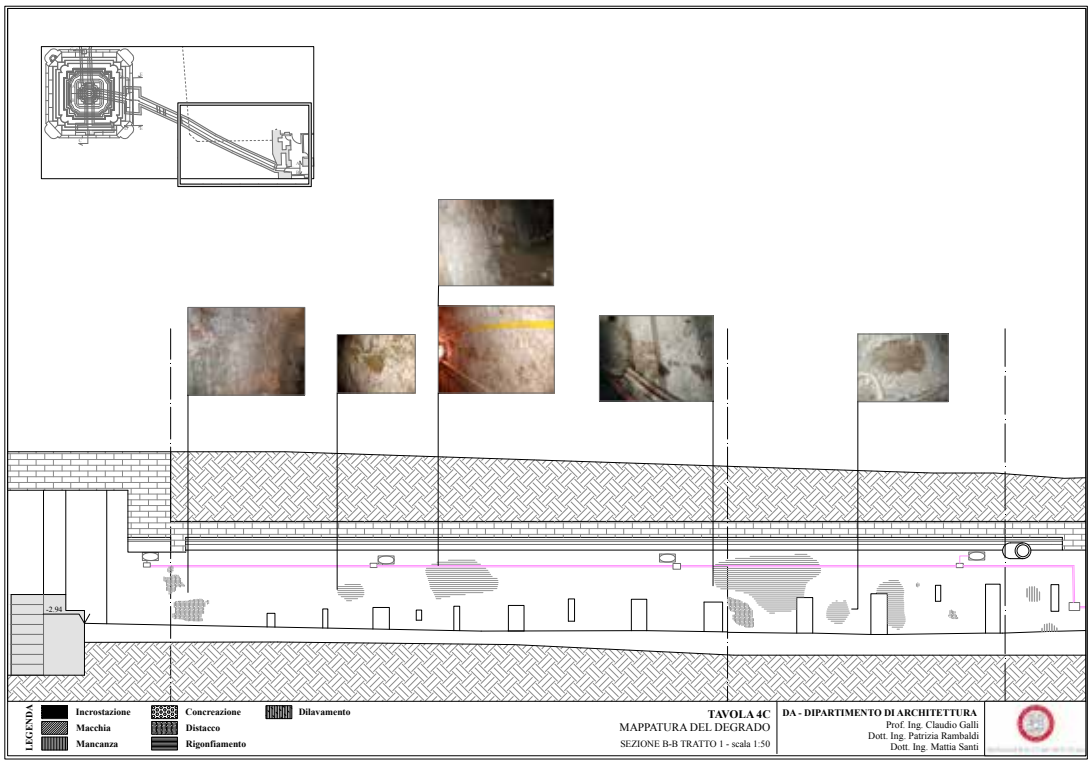
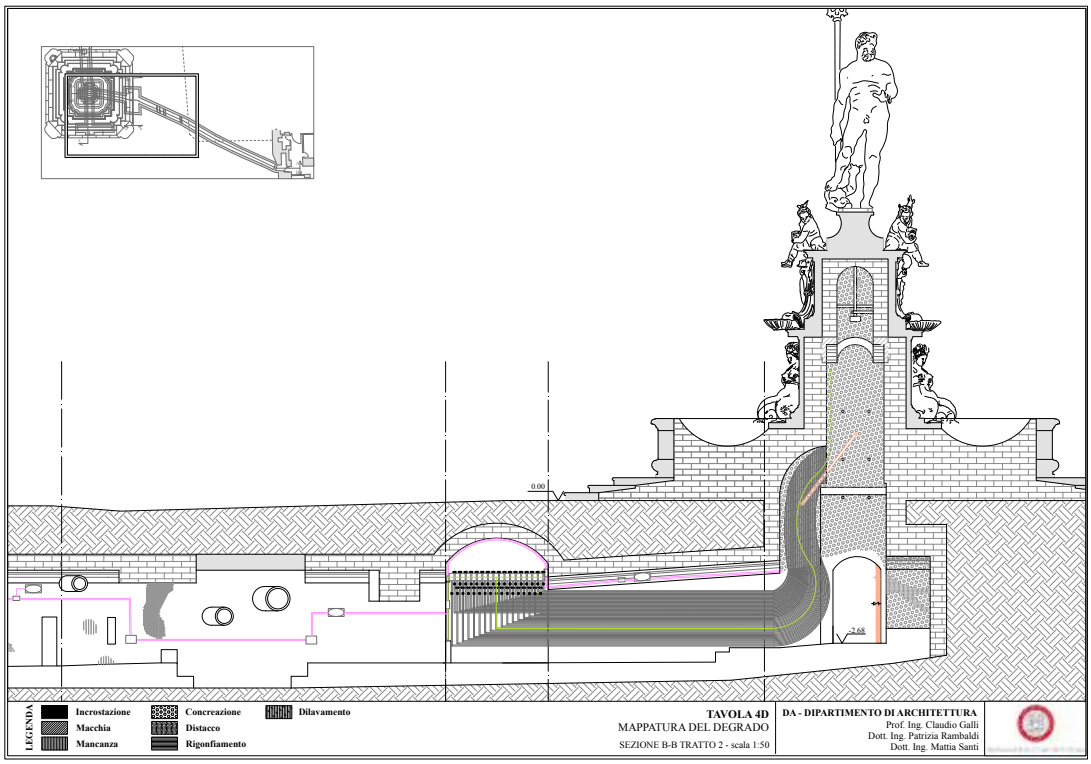


TAVOLA N.5
MAPPATURA DEL DEGRADO NELLE SEZIONI LONGITUDINALI






-2.94
LEGENDA
Incrostazione
Macchia
Mancanza
Concreazione
Distacco
Rigonfiamento
Dilavamento
TAVOLA 4C
MAPPATURA DEL DEGRADO
SEZIONE B-B TRATTO 1 - scala 1:50
DA - DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA
Prof. Ing. Claudio Galli
Dott. Ing. Patrizia Rambaldi
Dott. Ing. Mattia Santi


0.00
-2.68
LEGENDA
Incrostazione
Macchia
Mancanza
Concreazione
Distacco
Rigonfiamento
Dilavamento
TAVOLA 4D
MAPPATURA DEL DEGRADO
SEZIONE B-B TRATTO 2 - scala 1:50
DA - DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA
Prof. Ing. Claudio Galli
Dott. Ing. Patrizia Rambaldi
Dott. Ing. Mattia Santi

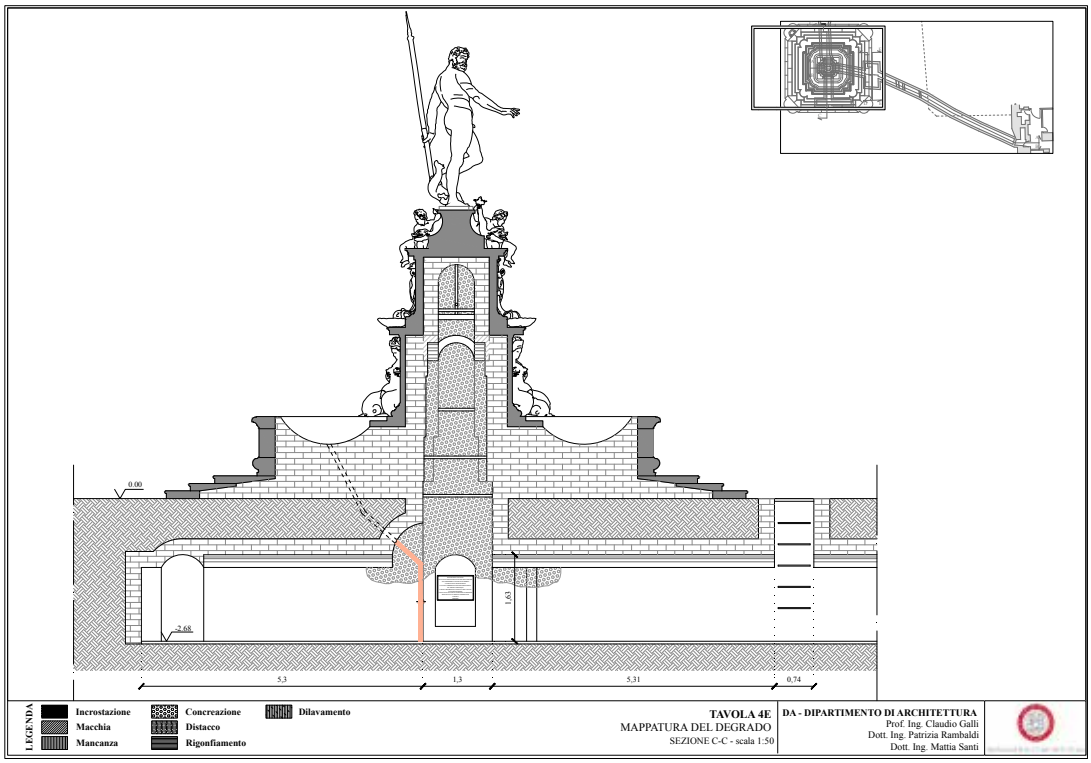
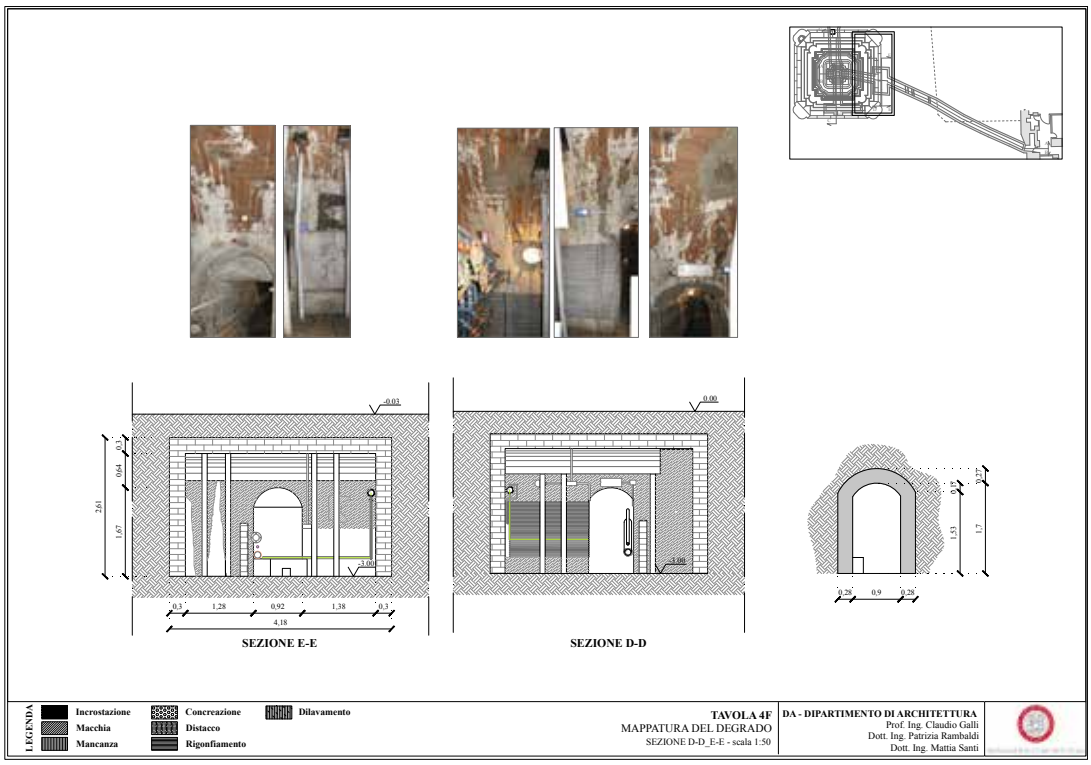



TAVOLA N.6
MAPPATURA DEL DEGRADO NELLE SEZIONI TRASVERSALI